



Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?

**L'homme doit-il s'adapter aux tunnels ou faut-il adapter
les tunnels à l'homme?**

**Should we educate the user to the tunnel or adapt the
tunnel to the user?**

Basler & Hofmann AG
Christiane Lellig
Armin Feurer
Andreas Schönenberger

Universität Bern, Institut für Psychologie
Dr. Marina Groner

**Forschungsauftrag FGU 2008/002 auf Antrag der
Fachgruppe für Untertagbau (FGU)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 "Clôture du projet", qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) commissioned by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)

Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?

**L'homme doit-il s'adapter aux tunnels ou faut-il adapter
les tunnels à l'homme?**

**Should we educate the user to the tunnel or adapt the
tunnel to the user?**

**Basler & Hofmann AG
Christiane Lellig
Armin Feurer
Andreas Schönenberger**

**Universität Bern, Institut für Psychologie
Dr. Marina Groner**

**Forschungsauftrag FGU 2008/002 auf Antrag der
Fachgruppe für Untertagbau (FGU)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Christiane Lellig

Mitglieder

Armin Feuerer

Andreas Schönenberger

Dr. Marina Groner

Begleitkommission

Präsident

Prof. Dr. Georgios Anagnostou

Mitglieder

Felix Amberg

Walter Steiner

Christian Gammeter

Jacqueline Bächli-Biétry

Antragsteller

Fachgruppe für Untertagebau FGU

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://partnershop.vss.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	8
	Summary	9
1	Projektziele	11
2	Projektbeschreibung	12
3	Stand der Forschung: Übersicht	14
4	Systemabgrenzung	15
4.1	Arbeitshypothese und Untersuchungsgegenstand	15
4.2	Akteure	16
5	Vorgehen / Methoden	18
5.1	Phase 1: Literaturanalyse und Praxisabgleich	18
5.2	Phase 2: Diffusion und kritische Überprüfung	18
6	Literaturanalyse: Verhalten, Faktoren, Massnahmen	20
6.1	Tunnelbrand: Situation und Rahmenbedingungen	20
6.2	Nutzer: Verhalten, Faktoren, Massnahmen	20
6.2.1	Beobachtetes Verhalten	21
6.2.2	Einflussfaktoren	27
6.2.3	Massnahmen	33
6.3	Betreiber	36
6.3.1	Beobachtetes Verhalten	37
6.3.2	Einflussfaktoren	37
6.3.3	Massnahmen	39
6.4	Ereignisdienste	40
6.4.1	Beobachtetes Verhalten	40
6.4.2	Einflussfaktoren	42
6.4.3	Massnahmen	44
6.5	Anforderungen an Tunnelausstattung und Prozesse	44
6.5.1	Detektion	45
6.5.2	Interface Design	45
6.5.3	Notrufsäule / SOS-Nische	46
6.5.4	Feuerlöscher	47
6.5.5	Sperrung Tunneleinfahrt	47
6.5.6	Information der Nutzer im Tunnel	48
6.5.7	Signalisation Fluchtweg	53
6.5.8	Signalisation Notausgang	55
6.5.9	Gestaltung Notausgang	56
6.5.10	Ausstattung Querschlag	57
6.5.11	Ausstattung Rettungsstollen	57
6.5.12	Ausstattung Schutzraum	58
6.5.13	Funkausstattung Einsatzkräfte und Betreiber	58
6.5.14	Notfallplan (Betreiber)	59
6.5.15	Einsatzplan (Einsatzkräfte)	60
6.5.16	Qualitätssicherung	61
6.5.17	Kooperation zwischen Betreiber und Einsatzkräften	61
6.5.18	Training / Routine	62
6.5.19	HR Anforderungsprofil / Fähigkeiten (Betreiber)	63
6.5.20	Personalausstattung / Workload	64
6.5.21	Technische Ausstattung	64

7	Analyse Normenwerk Schweiz	65
7.1	Bautechnische Normen.....	65
7.1.1	Vergleich von Normvorgaben und Anforderungen	65
7.1.2	Ergebnis	67
7.2	Richtlinien für Betreiber und Ereignisdienste.....	67
7.2.1	Vergleich von Normvorgaben und Anforderungen	68
7.2.2	Ergebnis	69
7.3	Verhaltensempfehlungen für Nutzer	69
7.3.1	"Das richtige Verhalten" im Vergleich	69
8	Spiegelung mit der Praxis	71
8.1	Tunnelbegehungen	71
8.2	Delphi-Studie	72
8.2.1	Anforderungen an die Tunnelausstattung.....	72
8.2.2	Anforderungen an Prozesse und Organisation.....	75
8.2.3	Anforderungen an das Vorwissen der Nutzer.....	76
8.3	Workshop mit Praxisexperten.....	76
8.3.1	Anforderungen an die Tunnelausstattung.....	76
8.3.2	Anforderungen an Prozesse und Organisation.....	79
8.3.3	Anforderungen an das Vorwissen der Nutzer.....	80
9	Ergebnisse Literatur – Praxis (Phase 1)	81
9.1	Vergleich Literatur – Praxis.....	81
9.2	Bewertung der Ergebnisse aus Phase 1	83
10	Diffusion und kritische Überprüfung der Anforderungen (Phase 2)	84
10.1	Vorabklärung.....	84
10.2	Workshops mit Praxisexperten	84
10.3	Befragung Experten Nachbarländer	84
10.4	Definition Anforderungen an die Tunnelausstattung	86
10.4.1	Aufenthaltsprinzip	86
10.4.2	Ruheprinzip.....	87
10.4.3	Liste der Anforderungen	87
11	Synthese	95
11.1	Auswirkungen auf die Normen (Empfehlungen).....	95
11.2	Forschungslücken.....	98
11.3	Empfehlungen für die Umsetzung	101
11.3.1	Prinzipien: Aufenthalt und Flucht	101
11.3.2	Normen: Integration der Ergebnisse.....	101
11.3.3	Wissen: Transfer in die Praxis	101
11.3.4	Verhalten: Massnahmen auf Ebene der Nutzer	102
	Anhänge	103
	Abkürzungen	161
	Literaturverzeichnis	163
	Projektabschluss	175
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	178

Zusammenfassung

Forschungsprojekt Tunnelsicherheit

Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?

Entscheidungsgrundlagen für die Berücksichtigung menschlichen Verhaltens in der Tunnelsicherheit.

Die Bedeutung von Strassentunnels für die Infrastruktur in stark besiedelten Gebieten nimmt ständig zu. Damit gewinnt das Thema "Tunnelsicherheit" weiter an Bedeutung. Neben der technischen Ausstattung eines Tunnels spielt das menschliche Verhalten eine zentrale Rolle für die Sicherheit in Tunneln. Basierend auf dem heutigen Forschungsstand ist das Forschungsprojekt von der Hypothese ausgegangen, dass die heutigen technischen Richtlinien und Normen den Faktor Mensch zu wenig berücksichtigen. Um diese Hypothese zu überprüfen, wurde zunächst ein systematischer Überblick über den Forschungsstand zum Thema "Tunnelsicherheit und der Faktor Mensch" geschaffen mit einer umfassenden Literaturzusammenfassung. Die relevanten Einflussfaktoren wurden in einem Wirkungsmodell visualisiert. Vorhandene Forschungslücken wurden dargestellt. In einem zweiten Schritt wurde mit einer strukturierenden Inhaltsanalyse überprüft, inwiefern das relevante technische Normenwerk die Erkenntnisse über das menschliche Verhalten im Tunnel berücksichtigt und adäquat umsetzt. In einem dritten Schritt wurden die Ergebnisse aus der Literaturstudie mit der Praxis gespiegelt. Neben einer einstufigen Befragung von Vertretern von Polizei, Feuerwehr, Betrieb und ASTRA sowie einem Workshop mit Praxisexperten wurden Vor-Ort-Begehungen repräsentativer Schweizer Tunnel durchgeführt.

Die Untersuchungen dieser ersten Phase haben gezeigt, dass die Hypothese überwiegend bestätigt wird. Das Ergebnis zeigt ausserdem, dass es eher bei Systemanpassungen (Prozesse, Tunneldesign etc.) anzusetzen gilt, um das menschliche Verhalten im Tunnel zu verbessern und damit die Tunnelsicherheit zu optimieren, als durch Massnahmen, die sich an die unmittelbar Beteiligten wenden (Kommunikation, Training etc.).

In der Phase 2 des Forschungsprojekts wurden bisherige Ergebnisse und die einzelnen Anforderungen an die Tunnelausstattung einer breiteren Gruppe an Praxisexperten vorgestellt und diskutiert. Insbesondere wurden hier die in der ersten Phase von Praxisexperten angesprochenen Prinzipien – Ruhe- und Aufenthaltsprinzip – und deren Auswirkungen auf die Tunnelausstattung thematisiert. Darüber hinaus wurden entsprechende Regelungen in den Nachbarländern Deutschland, Frankreich, Italien und Österreich abgeklärt.

Inhaltlich unterscheiden sich die Empfehlungen für Massnahmen in Literatur und Praxis zum Teil beträchtlich (Ergebnisse Phase 1 und 2). Insgesamt fordern die Experten in der Literatur eine umfangreichere Liste an technischen Massnahmen und Ausstattung. Die Praxisexperten tendieren zu einer schlankeren Tunnelausstattung nahe dem Status Quo. Sie begründen dies mit dem Ruheprinzip. Das Aufenthaltsprinzip ist aus Sicht der Praxisexperten für lange Tunnels denkbar.

Die Ergebnisse beider Phasen wurden aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht bewertet und Empfehlungen für die Anforderung an die Tunnelausstattung erarbeitet. Regelungsbedarf besteht demnach insbesondere bei der Information der Nutzer im Tunnel, der Signalisation des Fluchtwegs, der Regelung zu Türen am Notausgang sowie der Tunnel-sperrung. Konkret muss der Tunnel im Ereignisfall selbst sprechen d.h. sämtliche Sicherheitseinrichtungen und das dahinter stehende Konzept müssen selbsterklärend sein. Es kann nicht auf Vorwissen der Tunnelnutzer gesetzt werden. Es müssen konkrete Handlungsanweisungen an die Tunnelnutzer abgegeben werden. Diese müssen eindeutig sein und erfolgen idealerweise über mehrere Kanäle (visuell, akustisch, etc.).

Résumé

Projet de recherche Sécurité des tunnels

L'homme doit-il s'adapter aux tunnels ou faut-il adapter les tunnels à l'homme?

Critères de décision pour la prise en compte du comportement humain dans la sécurité des tunnels.

L'importance des tunnels routiers dans l'infrastructure des zones fortement peuplées ne cesse d'augmenter, c'est pourquoi le thème de la «sécurité des tunnels» devient prépondérant. Outre l'équipement technique d'un tunnel, le comportement humain joue lui aussi un rôle central dans la sécurité des tunnels. En se basant sur l'état actuel des recherches, le projet de recherche est parti de l'hypothèse selon laquelle les directives et normes techniques actuelles ne tiennent pas suffisamment compte du facteur humain. Afin de confirmer cette hypothèse, on a tout d'abord créé une vue d'ensemble systématique de l'état de la recherche sur le thème «La sécurité des tunnels et le facteur humain» avec un compte-rendu global de la documentation. Les facteurs d'influence pertinents ont été visualisés dans un modèle et les éventuelles lacunes de la recherche ont été représentées. Dans un deuxième temps, une analyse structurante du contenu a permis de vérifier dans quelle mesure les normes techniques pertinentes prenaient en considération les connaissances sur le comportement humain dans un tunnel et les mettaient en pratique de manière adéquate. Dans un troisième temps, les résultats issus de l'étude de la documentation ont été comparés à ce qui se fait dans la pratique en interrogeant les représentants de la police, des pompiers, du service de fonctionnement et de l'OFROU, ainsi que par le biais d'un atelier avec des experts et de déplacements sur site dans des tunnels suisses représentatifs.

Les examens de cette première phase ont démontré que l'hypothèse de départ se vérifie majoritairement. Le résultat indique en outre qu'il convient d'améliorer le comportement humain dans les tunnels et ainsi d'y optimiser la sécurité en adaptant les systèmes (processus, conception des tunnels, etc.) plutôt qu'en engageant des mesures orientées vers les personnes directement concernées (communication, formation, etc.).

Dans la phase 2 du projet les résultats de la phase 1 et les différentes exigences concernant l'équipement des tunnels ont été présentés à et discutés par un groupe plus grand d'experts du côté pratique. Les principes du calme et de l'arrêt introduits par des experts Suisse en phase 1 et leurs effets éventuels sur l'équipement du tunnel faisaient partie de ces discussions. De plus, la situation dans les pays voisins, l'Allemagne, l'Autriche, la France et l'Italie a été analysé.

Cependant, les mesures recommandées (phase 1 et 2) sont parfois très différentes sur le fond. Dans l'ensemble, la documentation demande une liste exhaustive de mesures techniques et de l'équipement alors que les experts du côté pratique tendent vers un équipement plus réduit dans les tunnels sur la base du status quo.

Les résultats des deux phases ont été évalués contre impact sur le comportement humain et des recommandations ont été élaborées. Un besoin de réglementation se fait particulièrement ressentir dans le cadre de l'information aux usagers des tunnels, de la signalisation des chemins de fuite, de la réglementation concernant les portes des sorties de secours, ainsi que du blocage du tunnel. Concrètement, le tunnel doit parler en cas d'incident. Il ne faut pas miser sur les connaissances préalables des usagers des tunnels, mais des instructions concrètes doivent leur être données. Celles-ci doivent être claires et transmises via plusieurs canaux (visuels, acoustiques, etc.).

Summary

Research project on tunnel safety and human behaviour

Should we educate the user to the tunnel or adapt the tunnel to the user*? (*L. Lathauer 2005)

How to integrate human behaviour in tunnel safety concepts.

The significance of road tunnels as part of the infrastructure of densely populated areas is on the increase. Consequently, the significance of tunnel safety is also increasing. Next to the technical outfitting of a tunnel, human behaviour also plays a central role in the safety of tunnels. Based on existing research, this research project hypothesized that today's norms and standards do not take the human factor adequately into account. In order to test this hypothesis the project first compiled a systematic overview of existing data in the area of "Tunnel Safety and the Human Factor" – with a comprehensive literature review. Relevant influencing factors have been visualized in a schematic diagram. Potential research gaps were identified. In a second step, using structured content analysis the project examined whether the current set of technical standards takes today's knowledge of human behaviour into account and applies it adequately. In a third step, the results of the literature study were mirrored against common practice with on-site inspections of representative Swiss tunnels, a Delphi-study and a workshop with Swiss experts representing police departments, fire brigades, tunnel operators and FEDRO.

Research of this first phase demonstrated that the hypothesis can be predominantly confirmed. The results also show that human behaviour in tunnels could be improved in order to optimize tunnel safety rather through system adjustments (processes, tunnel design, etc.) than through measures that address all parties concerned directly (communication, training, etc.).

In phase 2 results of phase 1 were diffused, mirrored and reviewed with a broader range of practice experts. The notion of the principles of calmness and wait introduced by Swiss experts in phase 1 and their consequences on tunnel equipment were especially focussed on. In addition, the respective situations in the neighbouring countries, Austria, Germany, France and Italy were analysed.

Recommended tunnel safety measures differ considerably in some parts between literature and practice experts (phase 1 and 2). Summed up, literature experts ask for extensive list of safety equipment while practice experts tend to a leaner equipment of tunnels based on today's status quo.

Results of both phases were evaluated against their potential impact on human behaviour and recommendations were elaborated. Requirements for regulation were identified primarily with the information of tunnel users, signalization of escape routes, functioning of escape doors and tunnel closure. More precisely in case of an emergency the tunnel should speak. Eventual pre-knowledge of tunnel users cannot be relied on. Instead, tunnel users should be guided by concrete calls for action. Content of these calls must be unambiguous and calls must be communicated through multiple channels (visual, acoustic, etc.).

1 Projektziele

Das menschliche Verhalten hat neben der technischen Ausstattung einen wesentlichen Einfluss auf die Tunnelsicherheit. Dennoch gibt es bisher nur wenig Forschungsprojekte, die das Thema Tunnelsicherheit integriert angehen, d.h. sowohl ingenieurtechnische als auch sozialwissenschaftliche Aspekte untersuchen. Ziele des Forschungsprojekts sind:

- Systematischer Überblick über das bestehende Wissen zum Thema "Tunnelsicherheit und der Faktor Mensch" und über allfällige Forschungslücken.
- Überblick über die Faktoren, die das menschliche Verhalten im Tunnel beeinflussen (Verkehrsteilnehmende, Betreiber, Rettungskräfte). Visualisierung dieser Einflussfaktoren in einer schematischen Modelldarstellung.
- Prüfung der relevanten technischen Normen und Richtlinien: Berücksichtigen sie den "Faktor Mensch" und in welcher Weise?
- Praxisempfehlungen zur Verbesserung der Tunnelsicherheit durch Beeinflussung des menschlichen Verhaltens (Tunnelgestaltung, Prozesse, Kommunikation, Training).

2 Projektbeschreibung

Die Bedeutung von Tunnels für die Infrastruktur in stark besiedelten Gebieten nimmt weiter zu. Ende 2005 waren im Schweizer Nationalstrassennetz 206 Tunnels mit einer Gesamtlänge von 204 km in Betrieb – dies bei einer Netzlänge von 1'758.2 km. Für die zu diesem Zeitpunkt noch geplanten rund 134 km Nationalstrasse waren 54 neue Tunnels im Bau bzw. in Planung mit einer Länge von 86.6 km (ASTRA 2007). Die Anzahl der Unfälle in Autotunnels ist im Vergleich zur offenen Strecke gering. Das potenzielle Schadensausmass eines einzelnen Unfalls ist jedoch unvergleichlich höher als auf der offenen Strecke – sowohl in Bezug auf das Personenrisiko als auch in Bezug auf den möglichen Sachschaden insbesondere an der Infrastruktur. Viele Tunnels sind zudem Hauptschlagadern im Verkehrsnetz. Sollte ein derartiger Tunnel wegen eines Unfalls für längere Zeit gesperrt bleiben, entsteht dadurch ein beträchtlicher volkswirtschaftlicher Schaden (Bundesrat 2002). Nicht zuletzt deshalb investiert das ASTRA von 2005 bis 2012 rund 700 Mio. Franken in die sicherheitstechnische Nachrüstung älterer Tunnels. Seit den schweren Unfällen im Montblanc, Tauern und Gotthard Tunnel in den Jahren 1999 und 2001 wurden sowohl in der Schweiz als auch in der EU zahlreiche Studien zum Thema Tunnelsicherheit durchgeführt. Die Mehrzahl der Studien beschäftigt sich mit der sicherheitstechnischen Ausstattung der Tunnel. Neben der sicherheitstechnischen Ausstattung spielt jedoch der "Faktor Mensch" für die Tunnelsicherheit eine zentrale Rolle: Rund 95 Prozent aller Autounfälle werden durch menschliches Fehlverhalten ausgelöst (Tunnel Task Force 2000). Das menschliche Verhalten – sei es von Nutzern, Betreibern oder Rettungskräften – hat zudem einen entscheidenden Einfluss auf den Ereignisverlauf. Dennoch gibt es bisher nur wenige Forschungsprojekte, die die technischen und menschlichen Aspekte der Tunnelsicherheit mit einem ganzheitlichen Ansatz analysiert haben. Einzelne Studien wie z.B. von TNO in den Niederlanden zeigten jedoch, dass technische Details wie eine missverständlich angeschriebene Fluchttüre schwerwiegende Hürden bei der Selbstrettung sein können.

Die Studie geht deshalb von folgenden Arbeitshypothesen aus:

1. Die technischen Normen und Richtlinien, mit denen Tunnels gestaltet werden, sowie die Betriebsabläufe berücksichtigen die menschlichen Bedürfnisse und das menschliche Verhalten im Tunnel zu wenig.
2. Das Sicherheitsniveau in Tunnels könnte auf effiziente Weise weiter erhöht werden durch entsprechende Anpassungen in der Tunnelgestaltung sowie durch Trainings-, Prozess- oder Kommunikationsmassnahmen.

Die Interaktion zwischen Mensch und Tunnel wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst so z.B. vom Wissensstand, der Aufmerksamkeit und dem Wahrnehmungsvermögen der einzelnen Beteiligten, von Prozessabläufen und der Sicherheitskultur des Betreibers und der Einsatzkräfte sowie von der Strassen- und Tunnelgestaltung und der technischen Ausstattung. Dementsprechend vielfältig ist das Forschungs- und Praxiswissen, das wichtige Einblicke in das Gesamtsystem liefern kann, bisher jedoch nur verstreut vorliegt:

- Europäische Projekte wie z.B. UPTUN, Safe-T. Hier sind vor allem die Studien von TNO in den Niederlanden zu nennen (Boer 2002, 2004, Martens 2006), die das Verhalten der Autofahrer bei einem Ereignisfall simulierten. Daneben führte die EU weitere Forschungsprojekte zur Strassensicherheit durch wie z.B. das Projekt In-safety oder Supreme, deren Ergebnisse für Strassentunnels "übersetzt" werden müssen.
- Erkenntnisse von Fachgruppen und Task Forces z.B. der World Road Association, von Fachorganisationen oder von Task Forces im In- und Ausland, die Tunnelunfälle auswerten, hinzu kommt das langjährige Wissen der Tunnelbetreiber.
- Eine umfangreiche Forschungsliteratur aus den Bereichen Verkehrs-, Wahrnehmungs- und Kognitionspsychologie sowie Ergonomie, insbesondere zu den Themen "human errors", "cognitive systems engineering" und "human behaviour in fire".

Das Forschungsprojekt gibt in einem ersten Schritt einen Überblick über den Wissensstand zum Thema "Tunnelsicherheit und der Faktor Mensch", erstellt eine schematische Modelldarstellung aller Einflussfaktoren und zeigt, wo allfällige Forschungslücken in Bezug auf diese Einflussfaktoren bestehen. Darauf basierend analysiert die Studie die bestehenden technischen Normen und Richtlinien und beantwortet die Frage, ob und wie weitgehend die technischen Vorgaben die menschlichen Anforderungen erfüllen. Anhand von drei ausgewählten Schweizer Tunnels werden zudem konkrete Tunnelsituationen sowie die jeweiligen Betriebsabläufe analysiert. Die erste Studienphase zeigt, ob die Arbeitshypothese aufrechterhalten werden kann und wo Ansatzpunkte bestehen, um durch die Steuerung menschlichen Verhaltens die Tunnelsicherheit zu erhöhen.

Die Erkenntnisse der Phase 1 werden in einer zweiten Phase an weitere Beteiligte gestreut und nochmals auf deren Gültigkeit aus Sicht von Praxisexperten hin geprüft. Daraus wird eine breit abgestützte Aussage zum Faktor Mensch in Strassentunnels abgeleitet.

3 Stand der Forschung: Übersicht

Das Thema "Tunnelsicherheit und der Faktor Mensch" befindet sich im Schnittbereich zwischen Ingenieur- und Sozialwissenschaften. Während sich die Ingenieurwissenschaften auf die weitere technische Optimierung konzentrieren, haben sich bisher nur wenige Sozialwissenschaftler mit Tunnelsicherheit auseinandergesetzt. Von Ingenieurseite gibt es zunehmende Bestrebungen die bisher geringe Zusammenarbeit zwischen den Disziplinen zu verstärken. Im Rahmen des grossen Europäischen Tunnelsicherheitsprojekts UPTUN (Upgrading Methods for Fire Safety in Existing Tunnels, 2001-2006) beschäftigte sich eines von sieben Arbeitspaketen mit dem Thema „Human Response“. Bei der World Road Association besteht seit einigen Jahren ein technisches Komitee, das sich dem Thema „Incorporating human factors in road design for safety improvement“ widmet (World Road Association 2007). Einen wichtigen Meilenstein im Bereich „Tunnelsicherheit und menschliches Verhalten“ setzten die Studien, die TNO, eine niederländische Organisation für angewandte Forschung, im Auftrag der Europäischen Kommission im Rahmen des UPTUN Projekts sowie im Auftrag des niederländischen Verkehrsministeriums durchgeführt haben (Boer 2002, 2003, 2004, Martens 2006). TNO führte Experimente in einem gesperrten Strassentunnel durch, bei denen die Probanden mit einer (angekündigten) Gefahr – einem rauchenden Lastwagen – konfrontiert wurden. Die Experimente zeigten deutlich, wie die Tunnelgestaltung, das Vorwissen der Probanden sowie die Betreiberinformationen während des Ereignisses das Verhalten beeinflussten. In Folge-Experimenten konnten die niederländischen Forscher anhand von Geräuschquellen, die der Orientierung dienten, zeigen, wie mit ergonomisch angepassten Massnahmen eine schnellere Selbstrettung herbeigeführt werden kann.

Auch das französische ACTEURS-Projekt 2003-2006 (Akronym für „Améliorer le Couplage Tunnel Equipements Usagers pour Renforcer la Sécurité“), das im Auftrag von drei Tunnelbetreibern unter der Führung von Autoroutes et Tunnel du Mont Blanc (ATMB) durchgeführt wurde, untersuchte das Fahrerverhalten im Tunnel und die Einflussfaktoren für die Entscheidungsfindung im Ereignisfall. Die Forscher führten Interviews mit Experten und mit Autofahrern und filmten das Verhalten der Fahrer im Tunnel. Das Projekt zeigte, dass es eine klare Diskrepanz gibt zwischen dem tatsächlichen Fahrerverhalten und demjenigen, das von Fachleuten erwartet wird (Noizet 2005).

Abgesehen von den oben aufgeführten Projekten, die sich auch vorwiegend auf die Verkehrsteilnehmenden konzentrierten, gibt es kaum Studien, die sich mit dem Verhalten speziell im Tunnel beschäftigen. Umso vielfältiger ist jedoch die Literatur aus benachbarten Fachgebieten, die einen Beitrag zum Thema "Tunnelsicherheit und der Faktor Mensch" leisten können. Grundlagen liefern Kognitionspsychologie, Wahrnehmungspsychologie, Informationsdesign sowie Ergonomie. Mit human errors bzw. human factor in technischen Systemen beschäftigt sich ein Zweig der Kognitionspsychologie – hieraus könnten neue Einsichten für den Betrieb des Systems Tunnel gewonnen werden. Von Seiten der Verkehrspsychologie sind vor allem Beiträge zu psychologischen Aspekten in der Strassengestaltung auszuwerten, z.B. das Konzept der "self explaining roads" (Theeuwes 1998). Die Forschungsbereiche "Human Behaviour in Fire" (Bryan 1999, Pauls 1999, Human Behaviour in Fire 2004) und "Panik" (Quarantelli 2002, Drury 2004, Sime 1995) können wesentliche Beiträge zum Verhalten

4 Systemabgrenzung

4.1 Arbeitshypothese und Untersuchungsgegenstand

Grundlage der vorliegenden Untersuchung ist die Arbeitshypothese: "Die heutigen Richtlinien bezüglich Ausstattung und Betrieb eines Tunnels berücksichtigen nicht in ausreichendem Masse das menschliche Verhalten bei einem Tunnelbrand." Hintergrund der Hypothese ist die Tatsache, dass Menschen bei Brandereignissen in Strassentunneln in den vergangenen Jahren trotz vorhandener Sicherheitseinrichtungen zu Tode gekommen sind. Daher soll das menschliche Verhalten im Ereignisfall in einem Tunnel genauer untersucht werden, um Massnahmen definieren zu können, die Strassennutzer im Ereignisfall dazu bewegen, Selbstrettungsmassnahmen zu ergreifen.

Die Untersuchung konzentriert sich auf Ereignisse in Strassentunneln, sie geht explizit nicht ein auf die Besonderheiten von Ereignisfällen in Eisenbahntunneln. Aus der Untersuchung ausgeklammert wurden ebenfalls Aspekte der Unfallprävention.

Der Verlauf eines Ereignisses in einem Strassentunnel hängt von zahlreichen Variablen ab wie der technischen Ausstattung, der Reaktionszeit der Beteiligten und dem Brandherd selbst. Der entscheidende Faktor, um Menschenleben zu retten, ist die Zeit.

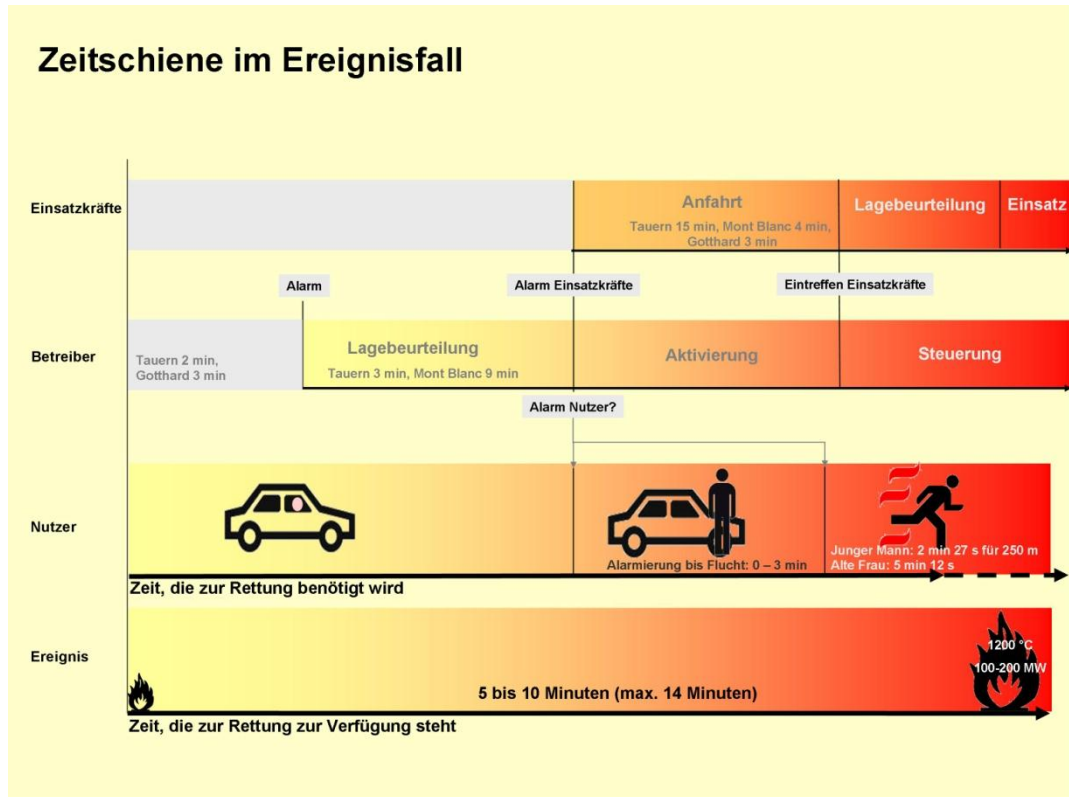
Zu unterscheiden ist dabei die zur Rettung/Evakuierung zur Verfügung stehende Zeit (ASET available safe egress time) und die zur Rettung/Evakuierung tatsächlich benötigte Zeit (RSET required safe egress time). Die zur Verfügung stehende Zeit wird definiert als die Zeit zwischen dem Ausbruch des Brandes (Feuer oder Mottbrand) und der Entstehung lebensbedrohender Zustände im nahen und weiteren Umfeld des Brandherdes (vgl. Shields 2005). Gegenstand der Untersuchung ist das Verhalten der Tunnelnutzer während der zur Verfügung stehenden Zeit ASET.

Diese lässt sich wiederum in verschiedene Phasen unterteilen. Eine wichtige Rolle spielt dabei die "Pre-evacuation activity time" PEAT, in der das Ereignis subjektiv von den einzelnen Strassennutzern wahrgenommen, das Gefahrenpotential bewertet und über mögliche Handlungsoptionen entschieden wird. Sie ist das zentrale Zeitfenster, wenn es darum geht, die zur Verfügung stehende Zeit optimal zu nutzen. Je länger PEAT andauert, desto weniger Zeit steht zur Selbstrettung zur Verfügung.

Um den Bestand dieser Hypothese zu untersuchen werden die Faktoren analysiert, die Einfluss auf das menschliche Verhalten haben bei den im Brandfall beteiligten Akteuren. Zu den beteiligten Akteuren zählen Autofahrer (Nutzer), Tunnelbetreiber (resp. Einsatzzentrale) und Einsatzkräfte (Polizei, Feuerwehr, Sanität). Das Verhalten dieser Akteure wird beeinflusst durch eine Reihe von Faktoren. Bei den Nutzern sind dies persönliche Eigenschaften (psychische Belastbarkeit, Gruppenzugehörigkeit, Objektverbundenheit, Vorbilder), physische und sensorische Fähigkeiten, Wissen und Einschätzungsvermögen der Situation, Wissen über richtiges Verhalten in der Situation, Vertrautheit mit dem Tunnel. Bei den Betreibern/der Verkehrsleitzentrale sind dies die Einsatz- respektive Notfallpläne, persönliche Eigenschaften, Arbeitsbelastung und Aufmerksamkeit, Erkennen der Situation, Wissen um Abläufe, Routine. Bei den Einsatzkräften sind die Faktoren Einsatzplan, Alarmierung, Wissen über Abläufe, Routine und Vertrautheit mit dem Tunnel, die technische Ausrüstung sowie die Entfernung zum Tunnel resp. Ereignis relevant. Ebenso zählen auf der technischen Ebene Faktoren wie die Brand- und Unfalldetektion sowie die Signalisation dazu, da sie das Verhalten der Verkehrsleitzentrale, der Rettungskräfte und der Nutzer beeinflussen.

Nicht Gegenstand dieser Untersuchung sind weitere technische Aspekte wie beispielsweise die Belüftung, die zwar einen entscheidenden Einfluss auf die zur Verfügung stehende Zeit zur Rettung bzw. Evakuation bei einem Brand im Tunnel haben, jedoch keinen Einfluss auf das menschliche Verhalten selbst.

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchung werden Schlussfolgerungen auf technischer und organisatorischer Ebene abgeleitet. Die bestehenden Normen und Richtlinien im Bereich Bau und Betrieb von Strassentunneln daraufhin überprüft, ob sie diese Schlussfolgerungen in Form von Vorgaben auf technischer und organisatorischer Ebene hinreichend berücksichtigen.



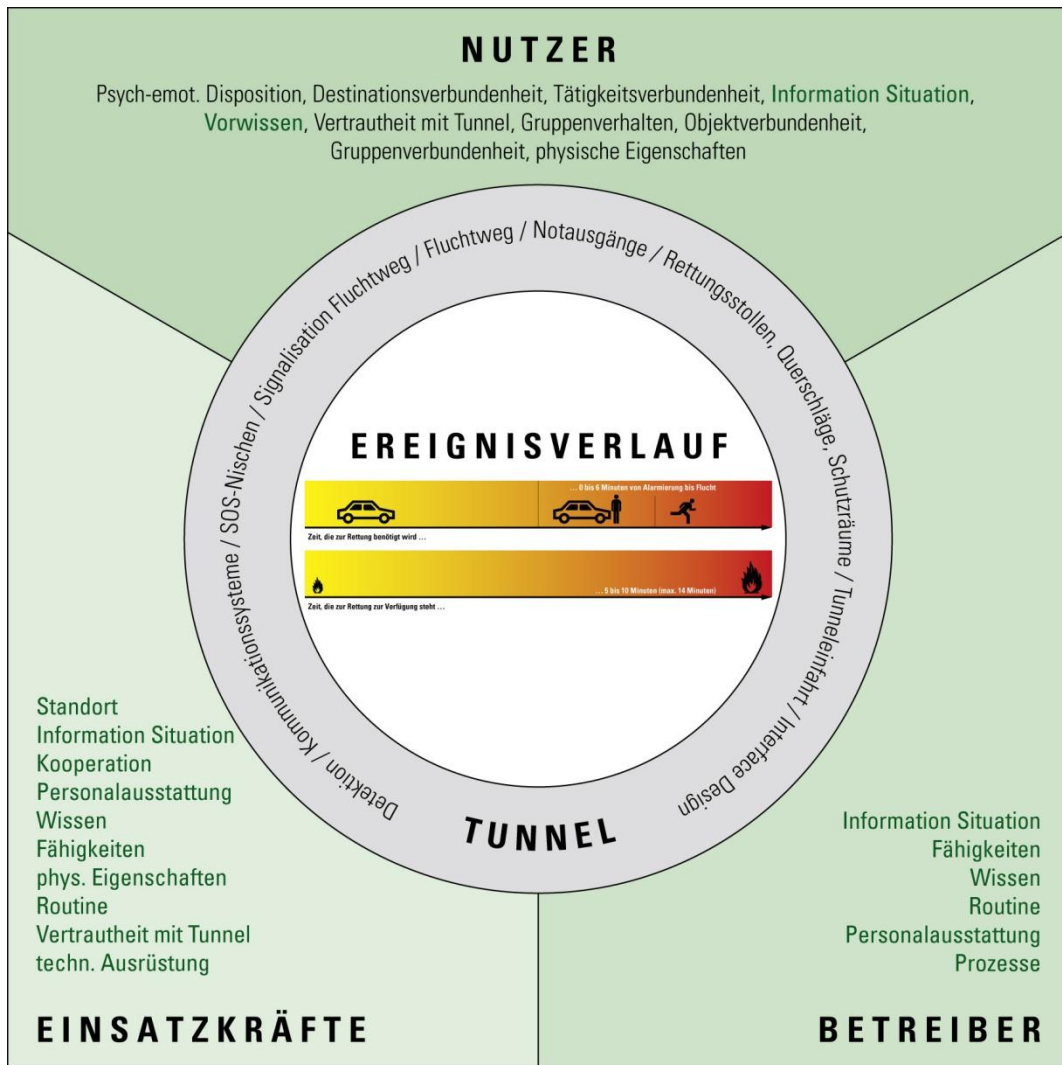
Die Zeit, die zur Verfügung steht - beeinflusst durch Brandentwicklung und technische Ausstattung des Tunnels - steht derjenigen Zeit gegenüber, die zur Rettung benötigt wird. Ziel des Projektes ist es herauszufinden, mit welchen Massnahmen die Zeit, die zur Rettung benötigt wird, verkürzt werden kann und wie deren Ausgestaltung das menschliche Verhalten berücksichtigt.

4.2 Akteure

Eine Vielzahl von Akteuren nimmt mittelbar und unmittelbar Einfluss auf die Situation bei einem Tunnelbrand: Nutzer, Betreiber, Einsatzkräfte, freiwillige Helfer, Motorfahrzeughersteller, Fahrschulen, Hersteller von Tunnelequipment, Tunnelplaner und Ingenieure, für den Strassenbau und -unterhalt zuständige staatliche Stellen wie das ASTRA.

Aus praktischen Gründen konzentriert sich diese Untersuchung auf die drei Akteursgruppen Nutzer, Betreiber und Einsatzkräfte (insbesondere Polizei und Feuerwehr), da diese unmittelbar bei Eintritt eines Ereignisses auf dieses Einfluss nehmen können.

Abbildung Akteure und Einflussfaktoren



Die Abbildung zeigt die Einflussfaktoren nach Akteuren. Grün markiert sind diejenigen Faktoren, die von aussen beeinflusst werden können, so die Information der Nutzer und deren Vorwissen. Bei den Einsatzkräften und den Betreibern werden alle Faktoren als beeinflussbar betrachtet, da es sich hier um ein professionelles und daher bewusst gestaltbares Umfeld handelt.

5 Vorgehen / Methoden

Verschiedenste Fachrichtungen tragen zum Thema menschliches Verhalten im Tunnel bei. Um einen Überblick über den heutigen Kenntnisstand zu erhalten, weiteren Forschungsbedarf zu identifizieren sowie die Arbeitshypothese zu überprüfen wurde ein mehrstufiges Verfahren in zwei Phasen gewählt.

5.1 Phase 1: Literaturanalyse und Praxisabgleich

Eine umfassende Literaturstudie lieferte einen Überblick über den Stand der Forschung in diesem Bereich und "übersetzte" die Erkenntnisse in konkrete technische und organisatorische Anforderungen für das System Tunnel. Als Ergebnis wurde neben einer zusammenfassenden Auswertung eine Liste der wichtigsten Verhaltensweisen und ergonomischen Anforderungen erarbeitet, die für die Selbstrettung ausschlaggebend sind. Eine visuelle Darstellung der wesentlichen Einflussfaktoren in einem Modell synthetisierte die Erkenntnisse der Literaturanalyse.

Auf die ursprünglich vorgesehenen qualitativen Interviews (mit semistrukturiertem Leitfaden) mit Spezialisten im Bereich "Human Behaviour and Tunnel Safety" (z.B. von TNO, Niederlande, PIARC, ACTEURS Projekt, Frankreich) sowie aus dem Bereich Betrieb und Rettung wurde verzichtet, da es sich bei den Experten um die Verfasser der bereits ausgewerteten Studien aus der Literaturanalyse handelt.

In einem zweiten Schritt wurden technische Normen und Richtlinien bewertet, die die Sicherheitsausstattung im Tunnel betreffen und in der Schweiz verwendet werden. Als relevant betrachtet wurden nur Vorgaben, die für das menschliche Verhalten im Tunnel und die Selbstrettung der Nutzer von Bedeutung sind. Im Rahmen einer strukturierenden Inhaltsanalyse wurde untersucht, ob und inwiefern die Richtlinien die menschliche Dimension berücksichtigen. Für diese Inhaltsanalyse wurde ein Kodierleitfaden erarbeitet, getestet und dann auf die relevanten Normen angewendet. Als Basis für den Kodierleitfaden diente die Liste der Anforderungen aus der Literaturanalyse.

Um die Ergebnisse aus der Literaturanalyse an der Praxis zu spiegeln, wurde ein Experten-Workshop mit Vertretern von Seiten Betreiber, Polizei und Feuerwehr durchgeführt. Damit sich die Diskussion im Workshop auf die strittigen Fragen der Praxisexperten konzentrieren konnte, wurde vorgängig eine einstufige Delphistudie mit Betreibern, Polizei, Feuerwehr, Sicherheitsbeauftragten und ASTRA-Mitarbeitenden durchgeführt. Inhalt der Delphi-Studie war der Katalog an Massnahmen, der aus der Literaturanalyse resultierte.

Darüber hinaus wurden exemplarisch drei Tunnel begangen, die installierten Sicherheitsmassnahmen aufgenommen und die verantwortlichen Betreiber befragt. Dabei sollte festgestellt werden, inwiefern die heutigen Strassentunnel sich an den Mindestanforderungen der Norm orientieren oder darüber hinaus menschliches Verhalten im Brandfall mit geeigneten Sicherheitsmassnahmen berücksichtigen.

5.2 Phase 2: Diffusion und kritische Überprüfung

Basierend auf den Erkenntnissen aus Delphistudie, Workshop mit Praxisexperten und Literaturanalyse wurde der Arbeitsschwerpunkt für die Phase 2 mit der Begleitkommission und dem ASTRA festgelegt. In dessen Fokus stand die Diffusion und Überprüfung der Ergebnisse aus Phase 1 anhand eines im Vergleich zur Phase 1 erweiterten Kreises von Praxisexperten. Aus dem Verteiler des ASTRA wurden folgende Praxisexperten angeschrieben: Kantonspolizei, Feuerwehren, Tunnelbetreiber, vom ASTRA beauftragte Sicherheitsbeauftragte SiBe, an Tunnelbauprojekten beteiligte Ingenieurbüros und Verfasser von Sicherheitskonzepten.

Es wurde vorab telefonisch geklärt, inwiefern das in Phase 1 zum Thema gewordene Ruhe- und Aufenthaltsprinzip bei Feuerwehr, Polizei und Betreibern in der Schweiz bekannte Standards sind. In Zusammenarbeit mit Fachpsychologen wurde zudem zu Beginn der Phase 2 und als Vorbereitung auf die Workshops definiert, was erforderlich wäre, um einen Aufforderungscharakter für den Verbleib der Nutzer im Querschlag zu schaffen. Ebenso wurde dabei abgeklärt, ob das Aufenthaltsprinzip in der Realität anwendbar ist. Die Liste der Anforderungen wurde dann im Rahmen der Workshops mit Praxisexperten diskutiert.

In den drei Workshops, an denen je mindestens zwei Vertreter der Polizei, zwei Vertreter der Feuerwehr, zwei Vertreter des Betriebs sowie ein Vertreter eines Ingenieurbüros aus dem Bereich Tunnelsicherheit teilnahmen, wurden die Ergebnisse der Phase 1 präsentiert und strittige Punkte mit den Teilnehmenden diskutiert. Das Format der Workshops entsprach demjenigen des Experten-Workshops aus Phase 1.

Die Workshops sollten zeigen, ob das "Ruheprinzip" bestätigt wird und welche Massnahmen damit konform gehen. Besteht hier ein Konsens zwischen den Praxisexperten? Wie verhält sich die Einschätzung der Schweizer Experten zu denjenigen der Nachbarländer? Stehen Sound Beacons und Lautsprecher im Widerspruch mit dem Ruheprinzip? Darüber hinaus wurde abgeklärt, ob das Ruheprinzip auch in den Nachbarländern bekannt und gültig ist. Ebenfalls wurde die Gültigkeit des Aufenthaltsprinzips im Ereignisfall abgeklärt. Dies erfolgte durch Nachfrage bei Experten in staatlichen Institutionen sowie bei Tunnelbetreibern in Deutschland, Österreich, Frankreich und Italien.

Auf Basis der erzielten Ergebnisse wurden die Anforderungen an die Tunnelausstattung überprüft. Welche Anforderungen wurden bestätigt, welche nicht? Wo bestehen weiterhin Unstimmigkeiten und wie könnten diese geklärt werden? Die Ergebnisse aus beiden Phasen wurden auf ihre Auswirkungen auf das menschliche Verhalten im Ereignisfall überprüft und Empfehlungen erarbeitet.

Die Liste der empfohlenen Anforderungen wurde mit den geltenden Normen abgeglichen und Handlungsbedarf für allfällige Anforderungen aufgezeigt.

6 Literaturanalyse: Verhalten, Faktoren, Massnahmen

Das Nutzerverhalten wurde in den vergangenen Jahren sehr stark untersucht. Es liegt eine Vielzahl an Auswertung von Berichten und Experimenten zum Verhalten der Tunnelnutzer im Ereignisfall vor. Kaum vorhanden sind dagegen Berichte über das Verhalten von Betreibern und Rettungskräften. Hier lassen sich lediglich einzelne Momentaufnahmen aus Ereignisberichten – überwiegend von Eisenbahnereignissen, Umfragen und Strategieempfehlungen – zitieren. Wenig Material gibt es auch zum Informationsverhalten der Operator im Ereignisfall. Es lassen sich daher nur in geringem Masse gesicherte Erkenntnisse über Verhalten und Massnahmen bezüglich dieser Akteure ausweisen.

6.1 Tunnelbrand: Situation und Rahmenbedingungen

Vielfach wird in der Literatur die Situation bei einem Ereignisfall im Tunnel wie folgt beschrieben: Es ist dunkel. Rauch bildet sich und behindert die Sicht und beeinträchtigt die Atmung. Der Verkehr kommt zum Erliegen.

Moderne Tunnel sind heute in der Regel mit folgenden Sicherheitseinrichtungen ausgestattet:

- Beleuchtung
- Ventilation
- CCTV und Sensoren zur Überwachung und Alarmierung
- Radio-Empfang auf mindestens einer Frequenz, Rebroadcasting-Möglichkeit
- Notrufsäulen
- Feuerlöscher
- Notausgänge zu Querschlägen in benachbarte Tunnelröhre (Richtungsverkehr) oder Rettungsstollen (Gegenverkehr)
- Beschilderung zu den Notausgängen (Fluchtweg-Signalisation)

Diese Sicherheitsausstattung ist auf folgendes Szenario ausgerichtet: Bei Brand halten die betroffenen Nutzer sofort an. Dies ermöglicht das operationelle Einsetzen der Sicherheitsmassnahmen und -einrichtungen wie Ventilation, Beleuchtung, Signalisation, Schutzräume, CCTV, Radio (vgl. Noizet 2004). Das tatsächliche Nutzerverhalten entspricht diesem idealtypischen Muster jedoch nicht (vgl. Voeltzl/Dix 2004; Noizet et al. 2005; Gandit et al. 2008; Leitner 2001; Martin et al. 2005; Donald et al. 1992).

6.2 Nutzer: Verhalten, Faktoren, Massnahmen

Tunnelnutzer lassen sich in zwei grundlegende Kategorien unterteilen: Fahrer und Transportierte. Die Fahrer lassen sich wiederum unterteilen in Berufsfahrer, regelmässige und gelegentliche Fahrer. Die Gruppe der Transportierten besteht je Fahrzeug normalerweise aus ein bis fünf Personen. Bei Mini-Bussen oder Bussen können es jedoch zwischen acht bis 60 Personen pro Fahrzeug sein. Dies ist bei der Berechnung der möglichen Anzahl an Personen bei einem Ereignisfall im Tunnel zu berücksichtigen (Brousse 2004).

Im Ereignisfall zeigt sich folgendes Szenario: Ein Teil der Nutzer erkennt die Situation, da sie sich in unmittelbarer Nähe befinden. Ein Teil sieht nur, dass sich ein Stau bildet. Je länger die Situation andauert, desto mehr verbreitet sich Unsicherheit, Neugierde oder Unmut bei diesen Nutzern, was den Grund der Reiseverzögerung angeht. Mit Bezug auf die Ereignissituation lassen sich somit alle Nutzergruppen wiederum in zwei Kategorien unterteilen: diejenigen, die direkt involviert sind in die Ereignissituation – sei es als Verursacher oder sei es durch die räumliche Nähe zum Ereignis – und diejenigen, die nicht direkt involviert sind. Für die Analyse des Verhaltens im Ereignisfall wird die letztere Segmentierung der Nutzer herangezogen.

Die Unterscheidung zwischen Berufsfahrern, regelmässigen und gelegentlichen Fahrern wird mit Blick auf eine mögliche Führungs- und Aktivierungsrolle bei der Evakuierung und Selbstrettung untersucht. Darüber hinaus lassen sich Nutzer nach Alter, physischen und psychischen Dispositionen und Geschlecht unterteilen. Inwieweit diese Faktoren relevant sind für das Verhalten von Nutzern im Ereignisfall soll in Kapitel 6.2.2 diskutiert werden.

6.2.1 Beobachtetes Verhalten

In verschiedenen Ereignissen und Experimenten wurden folgende Verhaltensweisen beobachtet (vgl. Noizet 2004, Voeltzl, Dix 2004, Martens et al. 2005):

- Einige direkt involvierte Nutzer geben Alarm
- Einige direkt involvierte Nutzer versuchen, das brennende Fahrzeug aus dem Tunnel zu lenken
- Einige Nutzer versuchen zu wenden
- Einige Nutzer fahren an den brennenden Fahrzeugen vorbei oder kreuzen diese
- Einige Nutzer vor dem Tunnel respektieren das Rotlicht nicht respektive halten nicht an
- Die meisten Nutzer respektieren den Sicherheitsabstand beim Anhalten nicht
- Die meisten Nutzer zögern, die Flucht zu ergreifen und den Tunnel zu verlassen
- Die nicht direkt involvierten Nutzer reagieren erst, wenn sie Rauch und Flammen sehen
- Einige Nutzer bleiben in ihren Fahrzeugen sitzen
- Einige Nutzer verlassen ihr Fahrzeug, bleiben aber im Tunnel ohne einen Notausgang aufzusuchen
- Einige Nutzer versuchen den Tunnel zu Fuss zu verlassen
- Einige Nutzer erkennen die Notausgänge nicht oder nur schwer
- Einige Nutzer verlassen den bereits erreichten Schutzraum und kehren zum Wagen zurück

Im Folgenden werden einzelne Verhaltensweisen genauer betrachtet, die eine besonders hohe Relevanz für den Verlauf und Ausgang eines Ereignisses haben.

Alarmieren

Die Alarmierung der Nutzer ebenso wie der Betreiber und Einsatzkräfte löst eine Kette von Aktionen aus, die auf die Rettung der Nutzer zielt. Der Alarmierung kommt daher eine zentrale Bedeutung zu. Je früher die Alarmierung stattfindet, desto mehr Zeit steht für Rettung und Evakuierung zur Verfügung.

Direkt involvierte Nutzer befinden sich in unmittelbarer Nähe zum Ereignis und nehmen dieses in der Regel als erste wahr. Beobachtet wurde, dass die Nutzer die Betreiber respektive die Rettungskräfte alarmieren. So wurde die Feuerwehr beim Grossbrand im Gotthardtunnel von einem Autofahrer innerhalb von einer Minute alarmiert (Voeltzl, Dix 2004).

In der Literatur diskutiert wird das Kommunikationsmittel, das zur Alarmierung genutzt wird - die Notrufsäule oder das Mobiltelefon (Fargione et al. 2006). Praxisexperten gehen zuweilen davon aus, dass im Notfall 90% der Automobilisten zum Mobiltelefon greifen

(Hotz 2008). Die damit verbunden Problematik soll an anderer Stelle erörtert werden (Kapitel 6.5.3).

Die Datenanalyse von Martin et al. zeigt, dass die Notrufkabine häufig aufgesucht wird, jedoch kein Notruf von dort abgesetzt wird. Dies wird von den Autoren auf eine Sprachbarriere zurückgeführt (Martin et al. 2005). Bei den Grossereignissen im Mont Blanc-Tunnel, im Gotthardtunnel und im Tauerntunnel wurden die Notrufsäulen genutzt (vgl. Voeltzl/Dix 2004).

Feuer löschen

Auswertungen von Ereignisberichten zeigen, dass einige direkt involvierte Nutzer versuchen, den Brand mit dem Feuerlöscher aus dem Tunnel zu löschen, andere wiederum unternehmen keinen Löschversuch. Vereinzelt wurde beobachtet, dass Nutzer versuchen, das brennende Fahrzeug aus dem Tunnel zu lenken (vgl. Voeltzl/Dix 2004; Noizet et al. 2005; Gandit et al. 2008; Leitner 2001; Martin et al. 2005;).

Martens et al. haben verschiedene Studien ausgewertet: Nach einer Umfrage unter Strassennutzern in Norwegen würden 43 Prozent der Befragten in einer Ereignissituation versuchen den Brand zu löschen. Eine andere Studie zeigt dagegen, dass die meisten Fahrer versuchen würden aus dem Tunnel zu fahren, bevor sie einen Löschversuch starten. Die Nutzung des Feuerlöschers zur Brandbekämpfung ist demnach eher selten (Martens et al. 2005). So zeigt das Beispiel eines Busbrandes im Hugenottentunnel, dass keiner der Passagiere den Feuerlöscher des Autobusses noch einen der Feuerlöscher im Tunnel nutzte, obwohl diese nur 50 Meter entfernt waren (Martens et al. 2005). Diese Zurückhaltung in der Nutzung von Feuerlöschern wird von verschiedenen Autoren darauf zurückgeführt, dass viele Tunnelnutzer nicht vertraut sind mit der Bedienung von Feuerlöschern und häufig nicht damit zurechtkommen oder es nicht schaffen, das Feuer zu löschen (vgl. PIARC 2008a). Als problematisch erachtet wird in diesem Zusammenhang, dass durch den gescheiterten Löschversuch wertvolle Zeit verloren ginge, in der ein Notruf getätigt oder eine Selbstrettungsmassnahme ergriffen werden könnte (ebda.). Dies wirft die grundsätzliche Frage auf, ob „Feuer löschen“ von Nutzern erwartet respektive diesen als das richtige Verhalten empfohlen werden soll. Bei einem Brand stehen die direkt involvierten Nutzer in einem Zielkonflikt: Sollen sie sich so schnell wie möglich in Sicherheit bringen, indem sie den Tunnel verlassen, oder sollen sie bleiben und versuchen den Brand zu löschen. Gemäss Papaioannou tendieren Menschen in einem solchen Brandfall eher zur Flucht als zur Brandbekämpfung (Papaioannou 2003). Martens führt an, dass es einen bestimmten Grenzwert für den Schweregrad eines Feuers gibt, ab dem eine Person eher die Feuerwehr rufen würde als den Brand selbst zu bekämpfen. Unterhalb dieses Schwellenwertes würden Menschen versuchen das Feuer selbst zu löschen, da sie überzeugt sind, diese Aufgabe erfolgreich bewältigen zu können. Die Höhe des Schwellenwertes sei unter anderem abhängig von Alter, Geschlecht sowie Anwesenheit anderer Personen (Martens et al. 2005).

Gemäss Statistiken würden jedoch mindestens 60% der Tunnelbrände mit Feuerlöschern gelöscht werden (PIARC 2008a).

Fahrzeug aus dem Tunnel lenken

Alternativ zum Verhaltensmuster "Anhalten und Alarmieren" versuchen einige direkt involvierte Nutzer das brennende Fahrzeug aus dem Tunnel heraus zu lenken (s.o.). Im ACTEURS-Projekt traf dies insbesondere auf Berufsfahrer zu. Diese zeigten eine Tendenz aus dem Tunnel herauszufahren, wenn Probleme an ihrem Fahrzeug entstanden. Sie sagten aus, nicht in eine Situation geraten zu wollen wie im Mont Blanc-Tunnel (Noizet 2004). Martens erkennt hier einen Zielkonflikt: Soll der Nutzer mit dem brennenden Fahrzeug weiterfahren und dabei riskieren, das Feuer weiter zu entfachen, oder soll er stehen bleiben und damit riskieren, einen Grossbrand im Tunnel auszulösen (Martens et al. 2005).

Zögern und aktiv werden

Beobachtet wurde in Experimenten und Ereignissen in Gebäuden wie in Tunneln, dass Menschen sich nicht sofort evakuieren. Die reguläre Reaktion eines Menschen auf ein Ereignis in einem Gebäude ist Lethargie (Shields 2005;Noizet 2004). Dies wird einerseits

darauf zurückgeführt, dass Menschen Zeit brauchen, um ihre Umgebung zu interpretieren (Persson 2002). Häufig nehmen Nutzer die Situation gar nicht oder erst sehr spät als gefährlich wahr. Im Gotthardtunnel starben Autofahrer, die sich rund 300-600 m vom Brandherd entfernt befanden und das Feuer von ihrem Wagen aus nicht sehen konnten (Voeltzl, Dix 2004; Shields 2005). Sie erkennen erst, dass sie sich in Gefahr befinden, wenn Sie Rauch oder Flammen sehen oder sie die Hitze des Brandes spüren. Im Simulator-Experiment von TNO nannten 83 Prozent der Teilnehmenden Rauch als Indikator dafür, was im Tunnel gerade geschah. Das Sichten von Rauch war für viele der Auslöser zum Handeln (Martens et al. 2005). Daraus lässt sich schliessen, dass die Distanz zum Ereignis eine grosse Rolle spielt für die Wahrnehmung und Bewertung durch eine Person (Noizet 2004).

Beim Brand im Tauerntunnel suchten drei Personen Schutz in einer Telefonnische, einige versuchten vergebens zu wenden, einige weigerten sich ihr Auto zu verlassen, andere machten Fotos, weitere schauten umher. Ebenso verhielten sich Nutzer beim Brand im Gotthardtunnel 2001: Die Fahrer der am Unfall beteiligten LKW überlebten. Die meisten Toten wurden in weiterer Entfernung zum Unfallort (bis zu 2000m) gefunden, einige davon in ihren Wagen. Nachgängig wurde davon ausgegangen, dass alle Opfer ausreichend Zeit gehabt hätten, den Tunnel sicher zu verlassen. Dass sie diese Option nicht gewählt haben lässt vermuten, dass das Ausmass der Bedrohung vielen Personen nicht deutlich war (Shields 2005).

Die Auswertung von Ereignisberichten zeigt, dass sich die Tunnelnutzer nicht an die Sicherheitsabstände halten. Dies führt dazu, dass das Feuer auf andere Fahrzeuge überspringt. Folglich befinden sich mehr Personen in der Gefahrenzone (Voeltzl, Dix 2004).

Die Nutzer im Tunnel wissen nicht, was sie mit ihrem Auto machen sollen: Fahrzeug abschliessen oder Schlüssel stecken lassen? Warnblinklicht einschalten? Diese Unsicherheit führt zu einer Verzögerung des Evakuierungsbeschlusses (Boer 2002).

Im Tunnelexperiment von TNO beispielweise zeigten die Teilnehmenden im sicheren Bereich hinter dem Notausgang eine grosse Unsicherheit darüber, was sie als nächstes tun sollten (Martens et al. 2005). Tunneldurchsagen konnten in den Querschlägen und Rettungstollen nicht gehört werden. Zudem gab es auch keinen Empfang für Mobiltelefone. Das Resultat dieser Unsicherheit wird wie folgt beschrieben: Strassennutzer verlassen den Rettungstollen oder Querschlag wieder und beobachten das Geschehen im Tunnel von der Tür aus, um ihr Informationsbedürfnis zu stillen (Boer 2002).

Auch die im Rahmen von ACTEURS befragten Augenzeugen hatten Schwierigkeiten, die Situation zu interpretieren und angemessene Verhaltensweisen zu bestimmen. Die meisten Zeugen sagten aus, dass sie verwirrt waren und nicht wussten, was sie tun sollten. Das Nicht-Verstehen der ersten Alarmsignale brachte sie dazu, den Ursachen nachzugehen, zusätzliche Informationen zu sammeln und sich gegenseitig zu befragen. Dieses Bedürfnis nach Information besteht offensichtlich auch weiter, wenn die Nutzer sich in Sicherheit befinden (z.B. in einem Schutzraum). Nach Zeugenaussagen haben sich mehrere Nutzer daher zurück in den Tunnel begeben, um neue Informationen zu sammeln (Noizet 2004).

Einige Nutzer haben erst sehr spät die Risiken und Gefahren erkannt, denen sie ausgesetzt waren. Einige mussten erst selbst die schwarzen Rauchschwaden wahrnehmen, bei anderen löste die starke Ausrüstung der Feuerwehrleute die Erkenntnis aus, dass eine reale Gefahr besteht. Sobald die Gefahr der Situation erkannt war, löste dies grossen Stress bei den Betroffenen aus, führte jedoch nicht zu Panikzuständen oder Gedränge (Noizet 2004). Neben Schwierigkeiten der Interpretation der Situation wurden auch Schwierigkeiten genannt, die Durchsagen zu verstehen aufgrund lauter Geräuschkulisse und Dopplereffekt sowie Schwierigkeiten, die Notausgänge wahrzunehmen und zu lokalisieren aufgrund schlechter Sicht und schlechter Signalisation. Ebenso gaben Befragte an, dass sie Schwierigkeiten hatten zu verstehen, wie die Notrufsäule funktioniert (Noizet 2004).

Evakuierungstests haben gezeigt, dass Menschen zwischen 5 bis 15 Minuten brauchen, um sich zu entscheiden, ob sie überhaupt handeln sollen und was sie schliesslich tun sollen (PIARC 2008a). Laut Sime verbringen die Menschen im Tunnel durchschnittlich zwei Drittel der Zeit zwischen dem Auslösen eines Alarms und der tatsächlichen Evakuierung bewegungslos. Nur ein Drittel der Zeit wird dazu verwendet, den Notausgang zu erreichen und sich in Sicherheit zu bringen (Sime, 1992). Die "awareness time", d.h. die Zeit bis eine Person die direkten und indirekten Warnsignale bemerkt, ist individuell: Die Zeit bis zu einer Reaktion auf die Wahrnehmung wird beeinflusst durch andere Personen, das Bewusstsein einer Person für eine Situation und die Umgebung (Warnschilder, Notausgangsbeschilderung, etc.). Die Reaktionszeit ist ebenfalls individuell (Persson 2002).

Die Bedeutung der Information in der Situation durch den Betreiber zeigt sich auch im Simulator-Experiment von TNO: 65 Prozent der Teilnehmenden verliessen ihr Fahrzeug eigenständig (gemäss Aussage). Von denjenigen, die vorab eine Informationsbroschüre zum richtigen Verhalten bei einem Tunnelbrand gelesen hatten, verliessen 75 Prozent ihren Wagen. Von denjenigen, die sowohl die Broschüre gelesen hatten als auch Anweisungen durch den Betreiber im Tunnel erhielten, verliessen 94 Prozent ihr Fahrzeug. Teilnehmende, die erst auf Anweisung handelten, zögerten im Experiment weniger lange als solche, die eigenständig den Entschluss fassten, den Tunnel zu verlassen (Martens et al. 2005). Mit einer Anweisung durch den Betreiber könnte die Evakuierung folglich beschleunigt werden. Gleichzeitig wird deutlich, dass selbst das Lesen einer Informationsbroschüre zum Verhalten bei einem Tunnelbrand unmittelbar vor einem Ereignis nicht ausreicht, um das korrekte Verhalten in der Situation auszulösen.

Fluchtweg wählen

Die Auswertung von verschiedenen Ereignissen zeigt, dass die Nutzer in der Regel alle Möglichkeiten zur Selbstrettung ausschöpfen: Wenden im Tunnel, Zusteigen zu fremden Fahrzeugen, Fluchtversuch zu Fuss (BUWAL 2000). Dies entspricht einem natürlichen "Fluchtverhalten" von Menschen. Darunter lassen sich auch Handlungen fassen, die zum Zeitpunkt des Ereignisses aus der Perspektive des Betroffenen logisch erscheinen, jedoch unter normalen Umständen als unlogisch bewertet würden. Beispielsweise andere Menschen aus dem Weg schubsen, um einen bestimmten Fluchtweg zu erreichen (Persson 2002).

Ereignisberichte zeigen, dass ein Teil der Nutzer jeweils versucht, das Fahrzeug zu wenden und so den Tunnel zu verlassen. Die Versuchung, das Fahrzeug zu wenden und aus dem Tunnel herauszufahren, rührt gemäss Noizet et al. von der Vorstellung, dass im Alarmzustand kein Auto mehr im Tunnel fährt und es besser ist, sich fahrend hinauszu bewegen als den Wagen stehenzulassen und zu Fuss über einen Notausgang zu flüchten (Noizet 2004).

Ebenso wurde bei verschiedenen Ereignissen in Strassentunnels beobachtet, dass Autofahrer an brennenden Fahrzeugen vorbeifahren. Im Fall des Mont Blanc-Tunnels hat dieses Verhalten den Nutzern das Leben gerettet, während die übrigen Fahrzeuge hinter dem brennenden Lastwagen gefangen blieben (Voeltzl, Dix 2004). Experimente haben bestätigt, dass Menschen mit ihrem Fahrzeug an rauchenden Gegenständen vorbeifahren. Zu Fuss würden sie diese jedoch nicht passieren (Boer 2002). Dies zeigen auch Auswertungen der Ereignisse im Mont Blanc (Martens et al. 2005).

Nutzer, die versuchen den Tunnel zu Fuss zu verlassen, wählen nicht immer den nächstgelegenen Notausgang: In einem UPTUN-Experiment mit einem Fahrsimulator wurde festgestellt, dass Tunnelnutzer nur schlecht einschätzen können, wie weit im Tunnelinneren sie sich befinden. Diese Fehleinschätzung wird als Begründung herangezogen, warum sich Menschen zum nah erscheinenden Tunneleingang oder -ausgang begeben anstatt den nächsten Notausgang zu nutzen (PIARC 2008a). Bei Experimenten von TNO wählten 94 Prozent der Teilnehmer, die sich zu einem Notausgang begaben, den nächstgelegenen Ausgang. Martens geht jedoch davon aus, dass dies kein natürliches menschliches Verhalten sei, sondern dass Menschen sich zum nächsten bekannten Ausgang begeben. Damit ist derjenige bezeichnet, den die Nutzer wahrnehmen. Es könne jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass dies immer der physisch nächstgelegene Ausgang sei (Martens et al. 2005). Insgesamt wählten bei diesen Experimenten drei

Viertel den Fluchtweg über den Notausgang, ein Viertel bevorzugte die Flucht über die Tunnelportale (Martens et al. 2005). Die Anzahl derjenigen, die über die Notausgänge flüchteten stieg auf 95 Prozent, wenn die Teilnehmenden explizit angewiesen wurden, den Notausgang als Fluchtweg zu nutzen (Boer 2002).

Sicherheitseinrichtungen kennen und nutzen

Damit Nutzer im Ereignisfall die Sicherheitseinrichtungen wie vorgesehen aufsuchen, müssen sie von diesen Kenntnis haben.

Viele Nutzer scheinen eher geringe Kenntnis zu haben von den Sicherheitseinrichtungen, die ihnen im Tunnel zur Verfügung stehen:

In Experimenten von Boer wussten fast 90 Prozent der Nutzer, dass es Notausgänge gibt. 95 Prozent wussten, dass sie zu Fuss flüchten sollten. Die Nutzer wussten jedoch nicht, wo die Notausgänge im jeweiligen Tunnel sind. 60 Prozent wussten, dass es Feuerlöscher gibt. Sie wussten aber nicht auf welcher Seite des Tunnels. 50 Prozent der Nutzer wussten, dass es Notruftelefone gibt (Boer 2002). Diese Zahlen weisen zunächst auf eine gute Kenntnis der Sicherheitseinrichtungen hin. Krul und Boer gehen jedoch davon aus, dass ausserhalb des Experimentes im Durchschnitt immer noch etwa ein Viertel der Tunnelnutzer nicht weiss, dass es Notausgänge gibt (Krul et al. 2002). Christ et al. erhalten in ihren Experimenten andere Zahlen als Boer: Die Befragung von Nutzern bei einem Tunnelexperiment in Österreich (ohne Rauch, Normaldurchfahrt) in 2002 zeigt, dass zwar 90 Prozent sich daran erinnern, die Notrufeinrichtung wahrgenommen zu haben und 75 Prozent erinnern die Pannennische. Den Notausgang hatten jedoch nur knapp 60 Prozent der Probanden wahrgenommen. Videokameras und Kilometerangaben zum Ausgang wurden von lediglich 15 Prozent erinnert (Christ et al. 2002). Das Folge-Experiment in 2004 zeigte veränderte Angaben: Die Notausgänge wurden von rund 70 Prozent der Probanden wahrgenommen. Dies entspricht einer Zunahme von fast 10 Prozent und tendiert damit in Richtung der Einschätzung Kruls und Boers. Die Kilometerangabe zum Ausgang wurde von fast 60 Prozent der Teilnehmenden erinnert. Ein Viertel der Probanden – und damit ca. 15 Prozent mehr als 2002 - hatte Feuerlöscher erkannt sowie Videokameras wahrgenommen (Gatscha et al. 2004). Die Kenntnis der Sicherheitseinrichtungen und deren Wahrnehmbarkeit konnte demnach in der Zeit zwischen 2002 und 2004 in Österreich verbessert werden. Dennoch erkennt fast ein Drittel der Nutzer bei einer Normaldurchfahrt die Notausgänge nicht und drei Viertel der Fahrenden nimmt keine Kenntnis von den Feuerlöschern.

Verschiedene Untersuchungen zeigen: Werden die Sicherheitseinrichtungen als solche erkannt, werden sie von den meisten Nutzern in Anspruch genommen. So konnten sich im Gotthardtunnel 30-35 Personen selbst retten, im Tauerntunnel waren es rund 80 Personen (Voeltzl, Dix 2004). Werden die Sicherheitseinrichtungen nicht als solche gekennzeichnet oder nicht erkannt, werden sie nicht genutzt: So wurden die Querschläge im Hugenottentunnel nicht als Fluchtwege genutzt, da sie nicht als solche gekennzeichnet waren (Martens et al. 2005). Auch im Mont Blanc-Tunnel verliessen einige Fahrer ihre Fahrzeuge und entfernten sich bis zu einer Distanz von 100 m bis 500 m von ihrem Wagen. Innerhalb dieser Entfernung hätten die betreffenden Personen einen Notausgang aufsuchen können, haben dies jedoch unterlassen, weil sie entweder keine Kenntnis von diesen hatten oder diese nicht erkannt haben (Martens et al. 2005).

Neben der Kenntnis der Sicherheitseinrichtungen scheint auch die Vertrautheit im Umgang mit diesen eine Rolle zu spielen: Als problematisch betrachten Boer und Martens, dass der Zugang zu Fluchtwegen in der Regel nur im Notfall erlaubt ist, in einer Normalsituation hingegen meist verboten. Es wird argumentiert, dass dieser Umstand Notausgänge als „verbotene Zone“ prägen und dazu führe, dass Menschen die Notausgänge ausschliesslich in ganz eindeutigen Notsituationen nutzen. Boer spricht hier von einer „Tür-Angst“, die Menschen davon abhalte Notausgänge zu durchschreiten (Boer 2002). Dazu ergänzen die Autoren der PIARC-Berichte, dass sowohl Forschung als auch Erfahrung deutlich zeigten, dass Tunnelnutzer in Gefahrensituationen glauben, dass sich hinter jeder Tür ein sicherer Bereich befinde. Gleichzeitig würden sie aber davor zurückschrecken, eine Notausgangstüre zu öffnen aus Unsicherheit darüber, was sie dahinter erwarten (PIARC 2008a).

Signalisation kennen und interpretieren

Die Signalisation dient dazu, die Nutzer auf die Gefahrensituation aufmerksam zu machen und den Fluchtweg über die Notausgänge aus dem Tunnel zu weisen. Dies setzt voraus, dass verwendete Piktogramme und Zeichen von den Nutzern verstanden und richtig interpretiert werden können.

Benthorn schätzt, dass Nutzer die Bedeutung von Warn- und Hinweisschildern häufig nicht kennen (Benthorn et al. 1999). Diese Aussage stützt sich auf eine experimentelle Untersuchung von Benthorn und Frantzich, die zeigt, dass zwar Notausgangsschilder als solche von nahezu allen Teilnehmenden der Studie erkannt werden, jedoch Schilder für "Feuerwehrschauch" und "Radioaktivität" nur von rund 50 Prozent der Personen als solche interpretiert werden (Benthorn et al. 1999).

Verhalten bei Rauch

Bei Rauch verändert sich das Verhalten der Nutzer: Noizet beobachtet, dass Menschen durch den Rauch weiterfahren oder gehen, selbst wenn die Dichte und die Reize des Rauches einen Einfluss auf die Fortbewegungsgeschwindigkeit haben (Noizet 2004). Auch Martens stellt fest, dass sich entgegen bisheriger Annahmen eine grosse Anzahl Menschen im Rauch bewegt (Martens et al. 2005). Dies sei umso mehr der Fall, je besser die Menschen den Tunnel kennen und einschätzen können, in welcher Entfernung der nächste Notausgang sich befindet. Auch Persson bestätigt, dass Menschen sich durch Gefahrenzonen hindurch bewegen, um den Weg zu wählen, der ihnen am vertrautesten ist (Persson 2002).

Kriterien für die Entscheidung, sich durch den Rauch hindurch zu bewegen seien die wahrgenommene Gefährdung, die Rauchdichte, der Hitzegrad, sowie die Angst eingeschlossen zu sein. Je geringer die Sicht, desto geringer sei die Wahrscheinlichkeit, dass sich Menschen durch Rauch hindurch bewegen (Martens et al. 2005).

In Experimenten und bei Ereignissen hat sich gezeigt, dass sich Nutzer im Rauch an der Wand entlang tasten bis sie zu einer Tür gelangen. Sie überqueren die Fahrbahn nicht. Dies wird damit begründet, dass sich die Menschen scheuen, die "sichere" Wand zu verlassen. Den Rauch zu durchqueren ist für sie psychologisch sehr anstrengend, da sie die visuelle Orientierung verloren haben (Boer 2002). Dieses Verhalten führt dazu, dass nur die Nutzer auf der „richtigen“ Seite die Notausgänge finden können. Selbst diese Menschen finden die Notausgänge im Rauch nicht ohne Hilfe. Im Gotthard legten drei Personen eine Strecke von 200 m zurück, konnten den Notausgang aber nicht finden. Im Tauertunnel lief eine Person sogar 800 m, zwei weitere nur 100 m. Alle drei fanden den Notausgang nicht (Voeltzl, Dix 2004).

Verhalten der Nutzer vor dem Tunnel

Autofahrer, die sich in der Anfahrt auf den Tunnel befinden, fahren weiter in den Tunnel ein, solange dies nicht durch physische Barrieren oder andere Massnahmen verhindert wird (Shields 2005, Martens et al. 2005, Papaioannou 2003). Dies wird darauf zurückgeführt, dass Menschen in Krisensituationen dazu tendieren an ihrem regulären Verhalten festzuhalten. Auf Strassennutzer übertragen heisst das: Ein Individuum, das in einen Tunnel hinein fährt, ist entschlossen auf der anderen Seite wieder herauszufahren (Martin et al 2005). Das zeigt sich daran, dass Nutzer im Ereignisfall weiterfahren bis sie kurz vor dem Hindernis zum Anhalten gezwungen sind (Papaioannou 2003).

Diese Entschlossenheit führt dazu, dass Menschen ihre Umgebung im Verhältnis zur regulären Situation oder regulären Nutzung interpretieren und erste Hinweise ignorieren oder fehlinterpretieren (Martens et al. 2005). So fahren Automobilisten trotz eines Rotlichts in einen Tunnel hinein (Papaioannou 2003). Dies konnte unter anderem beim Grossbrand im Tauerntunnel 1999 beobachtet werden. Ampeln sind keine physische Barriere und geben keine Erklärung für die Ursache einer Tunnelsperrung für den Verkehr. Martens vermutet, dass ein länger anhaltendes Rotlicht ohne zusätzliche Information für eine technische Störung gehalten und daher ignoriert wird (Martens et al. 2005). Gleichzeitig wird argumentiert, dass Strassennutzer bereits bevor sie in den Tunnel hineinfahren auf das Portal fokussieren. Dies führt dazu, dass Informationen in der Umgebung des Portals von den Nutzern nicht wahrgenommen werden (Papaioannou 2003, PIARC 2008A).

Im Rahmen des französischen Projekts ACTEURS wurden Überlebende von Tunnelereignissen nach ihren Erfahrungen befragt. Die Ergebnisse zeigen, dass die meisten Nutzer Schwierigkeiten haben, Informationen wahrzunehmen, die vor oder im Tunnel gegeben werden. Die Zeugenaussagen zeigen, dass die Betroffenen mit einer zeitlichen Verzögerung auf die ersten Alarmzeichen reagieren. Es besteht eine Verschiebung zwischen dem Auslösen eines Alarmzeichens und seiner Wahrnehmung sowie dem Verstehen respektive der Decodierung dieser Information durch den Nutzer. So bedarf es beispielsweise drei Rotlichter bevor ein Autofahrer anhält (Noizet 2004).

6.2.2 Einflussfaktoren

Folgende Faktoren beeinflussen das Verhalten von Tunnelnutzern im Ereignisfall:

- Psychisch-emotionale Disposition
- Destinations- und Tätigkeitsverbundenheit
- Objektverbundenheit
- Information über aktuelle Situation
- Gruppenverhalten und Gruppenverbundenheit
- Vorwissen zu richtigem Verhalten und Sicherheitseinrichtungen allgemein
- Vertrautheit mit dem konkreten Tunnel
- Physisch-sensorische Eigenschaften

Wann und in welcher Form diese Einflussfaktoren im Verlauf eines Ereignisses zum Tragen kommen, soll im Folgenden näher erläutert werden.

Psychisch–emotionale Disposition

Der Grad der Aufmerksamkeit, das Mass an Konzentration auf die ausgeübte Tätigkeit sowie die Vertrautheit mit dem vorhandenen Alarmierungssystem sind Faktoren, die das Verhalten eines Menschen im Ereignisfall beeinflussen. Menschen, die nicht mit Sirenen und Glocken vertraut sind, ignorieren diese eher (Martens 2005). Auch der momentane Gefühlszustand eines Menschen beeinflusst dessen Verhalten. Dieser wird hauptsächlich vom Unbewussten kontrolliert und beeinflusst, wie ein Mensch zu seiner Umwelt steht. Meist erlebt ein Mensch in Gefahr ein ganzes Spektrum von Gefühlen mehr oder weniger gleichzeitig. Die häufigsten Gefühle, die im Gefahrenzustand auftreten, sind Überwältigung, Angst, Wut, Trauer, Sorge und Hilflosigkeit (Dyregrov 1993).

Die Erfahrung von Panik wird häufig assoziiert mit irrationalem Verhalten. Wissenschaftlich ist Panik definiert als klinische Angststörung, mit Verlauf auf einen Höhepunkt innerhalb von ca. zehn Minuten und bestimmten körperlichen Reaktionen wie Herzrasen, Schweissausbruch, Zittern oder Schütteln, Atemnot, Brustschmerzen, Ohnmacht, "Dizziness" oder Bauchschmerzen etc. (Shields 2005). Experimente und Ereignisberichte zeigen jedoch, dass es im Brandfall in der Regel nicht zu Panikverhalten kommt. Die Menschen reagieren eher passiv, selbst bei starker Rauchbildung (Boer 2002). Das Panikkonzept als Erklärung für irrationales Verhalten wird im Zusammenhang mit Tunnelbränden nicht bestätigt: das Verhalten bei Brand kann nur angemessen beurteilt werden, wenn berücksichtigt wird, welche Handlungsoptionen dem Individuum in verschiedenen

Stadien bewusst waren, wie vertraut das Individuum mit dem Gebäude oder Tunnel ist und welche Zwänge bzw. Begrenzungen sich aus der Feuersituation ergeben haben (Martens 2005, Shields 2005, Papaioannou et al. 2003). Cohen geht davon aus, dass das objektiv vorhandene Risiko eine psychische Entsprechung hat. Die subjektiv erlebte Sicherheit sei das Ergebnis aus der eingeschätzten Gefahr, die von einer Situation ausgeht, in Relation zu den Möglichkeiten, diese zu bewältigen. Die subjektive Sicherheit muss geringer sein als die objektive Sicherheit, damit eine "Sicherheitsreserve" entsteht. Damit eine Handlung ausgelöst wird, sollten Nutzer die Gefahr immer als grösser einschätzen als sie objektiv betrachtet ist (Cohen 2004).

Martens und andere gehen davon aus, dass das Verhalten in einer solchen Krisensituation stark beeinflusst wird durch die individuelle Prädisposition einer Person im Umgang mit Stress, die persönliche Wahrnehmung und Beurteilung von Gefahr sowie vorgängige Erfahrungen mit Gefahrensituationen (PIARC 2008a, Martens et al. 2005, Papaioannou 2003). Mögliche Reaktionen auf durch Gefahr verursachten Stress sind Apathie, Paralyse, mentales Blackout, aber auch Hyperaktivität. Diese können dazu führen, dass Menschen die Situation nicht korrekt beurteilen können (Papaioannou 2003, PIARC 2008a). Grosse Angst kann dazu führen, dass Menschen den Fluchtweg nicht finden. Hingegen führt ein geringeres Mass an Angst, das mit "Feuer" verbunden wird dazu, dass eine Handlung ausgelöst wird und Menschen rechtzeitig die Flucht ergreifen (ebda.). Schock kann als Reaktion auf das Ereignis dazu führen, dass die Krisensituation emotional negiert wird (PIARC 2008a). Das Erzeugen einer Sicherheitsreserve nach dem Modell Cohens erscheint hier als riskant, da von aussen kaum abgeschätzt werden kann, welche Prädisposition bei den einzelnen Tunnelnutzern vorhanden ist.

Destinations- und Tätigkeitsverbundenheit

Bestimmte Verhaltensweisen von Tunnelnutzern im Ereignisfall lassen sich auf eine Aktivitätsverbundenheit zurückführen. Diese kommt beispielsweise dann zum Tragen, wenn das Einkommen oder der Erfolg des Nutzers davon abhängt, in einer bestimmten Zeit von A nach B zu kommen. Der Drang, das Reiseziel zu erreichen, trübt die Wahrnehmung und Einschätzung der Gefahrensituation (Shields 2005). Persson bezeichnet dies als "action oriented", d.h. der Grund aus dem eine Person durch den Tunnel fährt, wird das Verhalten der Person im Ereignisfall beeinflussen (Persson 2002). Ebenso wird das Commitment im Sinne einer inneren Verpflichtung zu einer Handlung als Erklärung dafür herangezogen, warum Menschen im Ereignisfall zögern ihren Wagen zu verlassen und zu evakuieren. Bei hohem Commitment zu einer Reiseaktivität oder zum Reiseziel wird es schwierig sein, die Fokussierung des Nutzers darauf zu durchbrechen (Shields 2005). Diese Fokussierung beeinflusst die Aufmerksamkeit des Nutzers gegenüber dem Tunnelbrand und seinen Alarmierungszustand.

Objektverbundenheit

Menschen bleiben aus Objektverbundenheit beim Fahrzeug oder kehren zum Fahrzeug zurück. Sie wissen nicht, wie sie ihren Besitz zurücklassen sollen (Boer 2002; Kouabenan et al. 2008; Gandit et al. 2008; Shields 2005; Noizet 2004).

Zeugen eines Tunnelereignisses sagen aus, dass sie sehr grosse Mühe hatten die Entscheidung zu treffen, ihren Wagen stehen zu lassen und einen Notausgang aufzusuchen. Die entscheidende Frage für diese Nutzer war: Ist das Risiko, das mit dem Zurücklassen des Autos verbunden ist, kleiner als das Risiko des Ereignisses? Die Entscheidung für das Zurücklassen des Wagens hat bei den befragten Nutzern zwei (unkontrollierbare) Verhaltensweisen hervorgerufen:

1. Auto abschliessen, um Diebstahl zu verhindern.
2. Güter und Gegenstände im Wahrnehmungsspektrum (Handtasche, Computer, Kuscheltiere der Kinder) einzusammeln und mitzunehmen (Noizet 2004)

Papaioannou schätzt, dass die Entscheidung einer Person, das eigene Fahrzeug zurückzulassen, vom Wert des Fahrzeugs oder anderer Wertgegenstände abhängt, die sich im Inneren des Wagens befinden (Papaioannou 2003). In diesem Zusammenhang stellt Papaioannou die These auf, dass das sozio-ökonomische Umfeld in einem Land das Ver-

halten der Menschen beeinflusst. Es wird argumentiert, dass die Objektverbundenheit unter Umständen gesteigert wird, je wertvoller das Objekt ist, z.B. ein luxuriöses Auto (Papaioannou 2003). Diese Aussage wird von der untersuchten Literatur nicht abgestützt.

Die Angst vor Diebstahl motiviert Menschen im Wagen zu bleiben und hindert sie daran, den Wagen unverschlossen zurückzulassen, argumentiert Martens. Selbst bei Rauch schliessen einige Nutzer einfach das Fenster. Erst auf Anweisung oder wenn sie andere Menschen flüchten sehen, verlassen sie den Wagen. Im TNO-Experiment verschloss rund ein Viertel der Teilnehmenden ihr Auto (Martens et al. 2005). Diese Objektgebundenheit zum Fahrzeug und den darin befindlichen Gegenständen resultiert darin, dass Menschen Lösungen wie das Wenden im Tunnel anstreben. Im Gotthardtunnel wendeten rund 100 Wagen und verliessen den Tunnel. Ebenso schafften es ein Bus und 15 Lastwagen im Tunnel zu wenden. Ähnliche Manöver wurden im Fréjus-Tunnel beobachtet (Martens et al. 2005, PIARC 2008a).

Die Objektgebundenheit führt auch dazu, dass Menschen, die sich bereits in Sicherheit befanden, wieder in den Tunnel zurückkehren, um Gegenstände aus dem Wagen zu retten. Dies konnte unter anderem im Gotthardtunnel, im Tauerntunnel und im Hugenottentunnel beobachtet werden (Martens et al. 2005, Boer 2002, Voeltzl, Dix 2004, Martin et al. 2005). Boer beobachtete zudem im Experiment, dass Personen, die zurücklaufen, um Gegenstände zu retten, gegen den Strom laufen und so die Evakuierung aufhalten (Boer 2002). Somit wird das Verhalten vom individuellen zum kollektiven Risiko.

Information über die aktuelle Situation

"The first need by a victim in a disaster is information". Diese Aussage Pauls (zitiert in Boer 2002) beschreibt zusammenfassend, was als zentrale Erkenntnis aus verschiedenen Experimenten und Ereignisberichten hervorgeht. Dieses hohe Informationsbedürfnis der Nutzer besteht über den gesamten Ablauf des Ereignisses, von der Alarmierung bis zur abgeschlossenen Evakuierung.

Insbesondere in der frühen Phase des Ereignisses sei das Verhalten der Menschen geprägt von Unsicherheit, Fehlinterpretationen und Unentschlossenheit, hält Papaioannou fest (Papaioannou 2003). Gleichzeitig suchten die Menschen nach Informationen, die die Krisensituation bestätigten (ebda.). Nach Beobachtung Martens tendierten die Nutzer dazu, auf weitere Informationen zu warten statt diese aktiv zu suchen (Martens et al. 2005). Um die Unsicherheit zu überwinden müsse demnach die Information lückenlos sein und regelmässig wiederholt werden (ebda.). Martens schliesst dies aus der Tatsache, dass viele Menschen trotz Anweisungen durch den Betreiber und obwohl sie schriftliche Informationen zum Verhalten bei einem Tunnelbrand vorgängig gelesen haben, immer noch nicht wissen, was sie tun sollen (Martens et al. 2005). Auch Papaioannou weist darauf hin, dass missverständliche oder mehrdeutige Informationen von den Nutzern kaum interpretiert werden können (Papaioannou 2003). Zu berücksichtigen sei auch die Tatsache, dass die Mehrheit der Tunnelnutzer bedeutende Teile der ersten Durchsage verpassten (ebda.).

Gruppenverhalten und Gruppenverbundenheit

Auch im Fall eines Tunnelbrandes kommt es zu Gruppenbildungen. Gruppenverhalten muss daher als Einflussfaktor für menschliches Verhalten im Ereignisfall berücksichtigt werden.

Das Verhalten von Menschen, die sich in Gruppen befinden, kann beeinflusst werden durch Konformitätsdruck (Gruppenzwang) oder affektive Zugehörigkeit, wie dies in Familien der Fall ist. Diese Faktoren führen zu gleichem Verhalten innerhalb einer Gruppe führt. Ein entscheidender Faktor ist dabei der Einfluss der Führerschaft innerhalb der Gruppe (Noizet 2004). Zeugenaussagen von Ereignissen bestätigen, dass die Übernahme der Führerschaft vor Ort durch andere Nutzer oder Feuerwehrleute, Betreiber etc. die Evakuierung beschleunigt und die Nutzer beruhigt (ebda.). Die Nutzer geben an, dass die Anwesenheit und Interaktion mit dem Einsatzpersonal oder den Feuerwehrleuten einen positiven Einfluss auf ihr Stressempfinden hatte (ebda.).

Auch Persson geht davon aus, dass Menschen mit Führungsrollen im "normalen Leben" diese Rolle positiv zur Evakuierung des Tunnels im Ereignisfall nutzen können (Persson 2002). Allerdings akzeptieren Menschen Informationen besser, wenn sie von anerkannten Autoritäten kommen wie Betreiber, Rettungskräfte oder Polizei (Papaioannou 2003, Martens et al. 2005).

Nach Papaioannou tendieren Gruppen in Krisensituationen dazu hierarchische Strukturen zu bilden (Papaioannou 2003). Dies bestätigt die Rolle der Führerschaft.

Die Gruppenbildung wirkt sich auf die Evakuierungsgeschwindigkeit aus: In Gruppen bestimmt die langsamste Person die Evakuierungsgeschwindigkeit der gesamten Gruppe. Dies wird neben dem Einfluss von Führerschaft und hierarchischen Strukturen darauf zurückgeführt, dass in der Gruppe das Gefühl der Zugehörigkeit und Verbundenheit gegenüber der Angst überwiegt (Meacham 1999). Hier ist die Rolle und Verantwortung, die Nutzer innerhalb einer Gruppe übernehmen, zu beachten. Diese beeinflusst neben dem Individualverhalten in einem Ereignisfall auch das Verhalten der anderen Nutzer (Shields 2005). Papaioannou und Martens weisen darauf hin, dass Menschen gerne das Verhalten anderer Menschen übernehmen, wenn ihnen wichtige Informationen fehlen. Dabei folgen sie gewöhnlich Menschen, die ihnen bereits vertraut sind (Papaioannou 2003, Martens et al. 2005). Dieser "Herdeneffekt" konnte in TNO-Experimenten nachvollzogen werden: Sobald der erste Teilnehmer aussteigt, ziehen weitere nach. Sobald die erste Person durch den Notausgang den Tunnel verlässt, folgen andere (Martens et al. 2005, Boer 2002).

Ein weiterer Einflussfaktor ist die Kultur. Die Zugehörigkeit zu einer Kultur beeinflusst das Verhalten von Menschen in allen Kontexten. Ihr Einfluss muss daher auch für Situation Tunnelbrand angenommen werden, insbesondere wenn stark etablierte hierarchische Entscheidungsstrukturen vorliegen. Gemäss Shields kann der kulturelle Einfluss jedoch in der Regel den Faktoren soziale Zugehörigkeit, Rolle und Verantwortung untergeordnet werden (Shields 2005). Nach Martens besteht keine Evidenz darüber, welche Rolle das Verhalten anderer Menschen spielt. Beobachtet wurde jedoch folgendes: Sobald viele Menschen dasselbe Ereignis beobachten, tendieren sie dazu anzunehmen, sie seien nicht persönlich betroffen davon (Martens 2005). Dies könnte eine Erklärung dafür sein, warum unter anderem im Tauerntunnel viele Menschen zwar ihr Fahrzeug verliessen, aber im Tunnel blieben statt zu evakuieren.

Abzugrenzen vom Gruppenverhalten ist der Einfluss der Gruppenverbundenheit. Diese stellt ab auf die soziale Zugehörigkeit (social affiliation) einer Person. Das Verhalten von Menschen in Gebäuden kann entscheidend beeinflusst werden von der Tatsache, ob sich eine Person alleine oder in einer Gruppe befindet. Menschen reisen häufig in Gruppen wie zum Beispiel der Familie. In einer Krise haben Menschen das Bedürfnis sich in der Nähe von Familie und Freunden aufzuhalten. Solche bestehenden Gruppen haben die Tendenz, sich zunächst gemeinsam zu formieren. Im Notfall kann dies die Zeit bis zur Entscheidung über die Flucht aus dem Tunnel (PEAT) signifikant verlängern und die Mitglieder der Gruppe damit einem grösseren Risiko aussetzen (Shields 2005, Papaioannou 2003). Martens beobachtet, dass Einzelpersonen schneller reagieren, während Familiengruppen warten bis sie ein klares Anzeichen für die Bedrohung erhalten (Martens et al. 2005).

Vorwissen zu richtigem Verhalten und Sicherheitseinrichtungen allgemein

Einige Zeugenaussagen bestätigen die Bedeutung vorhergegangener Erfahrungen mit Krisensituationen und Evakuationen. Dies zeigt insbesondere der Fall eines Busfahrers, dessen Reisebus Feuer gefangen hatte. Seine Erfahrung als Mitglied der freiwilligen Feuerwehr führte zu seiner Abschätzung des Gefahrenpotentials und der Entscheidung den brennenden Bus aus dem Tunnel hinauszufahren. Seine Kapazität den persönlichen Stresslevel zu regulieren ermöglichte ihm klar und deutlich mit seinen Fahrgästen zu kommunizieren (Noizet 2004). Viele Nutzer kennen hingegen die Verhaltensregeln bei einem Ereignis im Tunnel nicht. So z.B. die Distanzregel beim Anhalten im Tunnel, die im Ereignisfall wichtig ist für die Interventionsmöglichkeiten der Einsatzkräfte. (ebda.). Im Rahmen von ACTEURS wurden Tunnelnutzer zu ihrem intendierten Verhalten im Ereignisfall befragt: 72 Prozent gaben an, sie würden anhalten bei einem Brand im eigenen

Auto. 65 Prozent der Befragten würden anhalten bei einem Brand im Auto vor ihnen. 56 Prozent der Nutzer würden anhalten bei einem Brandalarm im Tunnel, wenn sie das Ereignis nicht sehen können (Noizet 2004). Flüchten würden hingegen nur 28 Prozent der Nutzer bei einem Brand im eigenen Auto, 33 Prozent bei einem Brand im Auto vor ihnen und 31 Prozent bei einem Brandalarm im Tunnel, wenn sie das Ereignis nicht sehen können (ebda.). Demnach würde rund ein Drittel aus dem Tunnel evakuieren. Nach Angaben von Noizet haben alle befragten Zeugen aus der Erfahrung mit dem Tunnelereignis etwas für ihr persönliches Verhalten im Tunnel gelernt:

- Bessere Voraussicht: langsamer fahren vor der Tunneleinfahrt, nicht erst ab der Tunneleinfahrt; Tunnelbeschilderung wahrnehmen.
- Bewusst machen und besseres Verständnis einer Verkehrsregel und diese einhalten: Sicherheitsabstand und Höchstgeschwindigkeit
- Höhere Aufmerksamkeit bei der Tunneldurchfahrt (Noizet 2004).

Experimente von Christ und Gatscha in Österreich lassen darauf schliessen, dass Strassennutzer nur geringe Kenntnis haben über das richtige Verhalten bei einem Ereignis im Tunnel:

Bei Stau, Rauchentwicklung und im Notfall würden 83% den Motor abstellen, 63% die Lüftung abstellen, lediglich 13% das Radio und 11% die Warnblinkanlage einschalten. Jeweils 1-4% würden die Feuerwehr alarmieren, aussteigen, Licht einschalten, Licht ausschalten, Heizung abdrehen, abwarten, Handy einschalten, auf Anweisungen warten (Christ et al. 2002).

Zur Alarmierung würden 56% ihr Mobiltelefon, 37% das Notruftelefon im Tunnel benutzen. Einzelne vermuten, dass das Mobiltelefon im Tunnel nicht funktioniert. Andere sagen aus, sie wüssten nicht, wie das Notruftelefon zu bedienen sei (Christ et al. 2002).

Bei Aufforderung den Tunnel zu Fuss zu verlassen, würden Nutzer ihr Fahrzeug wie folgt zurücklassen: 34% würden die Warnblinkanlage einschalten, 12% ein Warndreieck aufstellen, 16% das Fahrzeug beleuchtet zurücklassen. Einzelne würden rechts ranfahren, nicht die Handbremse ziehen, den Führerschein zurücklassen, Fenster schliessen, Schlüssel abziehen, Wagen absperren (Christ et al. 2002).

Im Tunnelexperiment von 2002 würden 18% in die entgegen gesetzte Richtung des Unfallortes laufen, 10% würden sich an Tafeln, Schildern und Fluchtwegen orientieren, 11% würden aus Erfahrung entscheiden, da sie aufpassen, wo sie sich gerade im Tunnel befinden. Weniger als 10% würden jeweils nach Gefühl handeln, raten, nach Kilometerangabe, in Fahrtrichtung, gegen die Fahrtrichtung, mit dem Wind oder mit der Masse laufen (Christ et al. 2002). Im Folgeexperiment von 2004 sind es bereits 96%, die in die entgegengesetzte Richtung des Unfallortes laufen würden und sich dabei an Kilometerangaben zur nächsten Fluchttür bzw. zum Ausgang orientieren. 12% würden Rauch beachten und wenn möglich bergab flüchten, um einem Kamineffekt zu entgehen. Diese Antwort wird auf Empfehlungen aus Medienberichterstattung zu Kitzsteinhorn zum damaligen Zeitpunkt zurückgeführt. 87% geben an, dass sie die vorhandenen Sicherheitseinrichtungen für ihre persönliche Sicherheit als ausreichend empfinden (Gatscha et al. 2004).

Fraglich ist, ob und wie Vorwissen zu angemessenem Verhalten im Ereignisfall in einem Tunnel erzeugt werden kann. Bei einem Simulator-Experiment mit Berufsfahrern zeigte die vorgängige Lektüre der EU-Broschüre keine Wirkung auf deren Verhalten. Martens führt dies darauf zurück, dass Menschen in kritischen Situationen in vertraute Verhaltensmuster zurückfallen (Martens et al. 2005, PIARC 2008a). Die Wirkung von Informationsbroschüren, die an Raststätten und Tunnelportalen verteilt werden, muss als sehr begrenzt angenommen werden. Dies zeigen Befragungen sowie UPTUN-Experimente (PIARC 2008a).

Im Zusammenhang mit der Berichterstattung zu Ereignissen scheint das Vorwissen am ehesten vermittelt werden zu können: Im Tauerntunnel retteten sich 80 Personen. Der Unfall im Mont Blanc-Tunnel war nur wenige Wochen vorher passiert. Man kann davon ausgehen, dass viele wussten, wie wichtig Selbstrettung für das Überleben ist (Voeltzl, Dix 2004).

Vertrautheit mit dem Tunnel

Immer wieder taucht in Berichten zum Thema menschliches Verhalten und Tunnelsicherheit der Faktor Vertrautheit mit dem Tunnel und seinen Sicherheitseinrichtungen auf. Vertrautheit als Faktor im Notfall ist wissenschaftlich belegt für Gebäude, jedoch nicht für Tunnel. Tatsächlich wird das Konzept Vertrautheit in der Sicherheitsliteratur für unterschiedliche Kontexte und mit unterschiedlicher Bedeutung gebraucht. Das Konzept der Zugehörigkeit (affiliation) von Sime beispielsweise sagt vorher, dass Menschen sich im Brandfall in Richtung auf vertraute Menschen und Orte bewegen. Dies wird in Bezug gesetzt zur Annahme, dass Menschen im Ereignisfall altruistisches Verhalten zeigen gegenüber Gruppen- und Familienmitgliedern (Sime 1995). Gegenseitiges Helfen unter Fremden wird zurückgeführt auf ein Gefühl des Zusammenseins, das in einer Menschenmenge im Ereignisfall und durch den gemeinsamen Bezug zu diesem Ereignisfall als gemeinsames ausserordentliches Erlebnis entsteht. Das bedeutet, dass nicht bereits vorhandene Bezüge und alltägliche gesellschaftliche Regeln und Rollen, sondern ein aufsteigendes Gefühl geteilter respektive gemeinsamer sozialer Identität Ursache des Verhaltens ist (Drury et al. 2007). Dieses altruistisch geprägte Gemeinschaftsgefühl kann dazu führen, dass Menschen aus dem sicheren Bereich in den Tunnel zurückkehren, um anderen zu helfen (Papaioannou 2003). Nur selten kommt es zu Konkurrenzsituationen zwischen Individuen um Überlebenschancen. Wenn Konkurrenzsituationen auftreten, dann tendenziell eher zwischen Gruppen (Sime 1995, Drury et al. 2007).

Vertrautheit als Ortsgebundenheit (Place affiliation) verstanden, ist ein weiteres Konzept in der Sicherheitsliteratur. Sime kritisierte bereits Mitte der 80er Jahre, dass die Ortsgebundenheit des Menschen nicht ausreichend im Design von Fluchtwegen berücksichtigt wird. Heute wird Vertrautheit von Nutzern bezogen auf die Nutzer-Reaktion. Es wird angenommen, dass alle Nutzer das Gebäude und seine Sicherheitssysteme kennen. Darüber hinaus wird Vertrautheit verwendet in Bezug auf die Wahl des Fluchtweges oder Notausgangs. Es wird angenommen, dass Nutzer ein Gebäude im Brandfall über den gleichen Weg verlassen, über den sie das Gebäude betreten haben (ebda.).

Bei einem Tunnelbrand kann davon ausgegangen werden, dass die meisten Nutzer nicht mit dem Tunnelumfeld vertraut sind. Nach Shields könnte der Einfluss der Vertrautheit damit argumentiert werden, dass sich Menschen bei einem Tunnelbrand in Richtung desjenigen Portals bewegen, durch das sie in den Tunnel gelangt sind. Auch Papaioannou und Martens erklären dieses in Ereignissen und Experimenten beobachtete Verhalten mit dem Konzept der Vertrautheit (Papaioannou 2003, Martens et al. 2005). Im Allgemeinen benutzten diejenigen Personen Notausgänge, die bereits vorher positive Erfahrungen mit Notausgängen gemacht haben. Fluchtwegen, mit denen die Nutzer nicht vertraut sind, würden häufig nicht genutzt (ebda.). So sagte ein Lastwagenfahrer zum Ereignis im Gotthardtunnel später aus, dass er froh gewesen sei, die Route täglich zu fahren und deshalb zu wissen, wo die Notausgänge sind (Martens et al. 2005). Allerdings weist Martens darauf hin, dass selbst Personen, die regelmässig durch den Tunnel fahren im Experiment den Weg über das Tunnelportal gegenüber den Notausgängen vorziehen (ebda.). Dem Konzept der Vertrautheit gegenüber steht hier das Konzept der erlernten Irrelevanz: Autofahrer ignorieren Warnhinweise und Verkehrsschilder, an denen sie regelmässig vorbeifahren oder denen sie regelmässig ausgesetzt sind (Shields 2005). Danach kann weder davon ausgegangen werden, dass Nutzer statische Notausgang-Signalisation wahrnehmen, noch dass sie dieser folgen. Dies wird gestützt durch Simes Hinweis, dass akustische Warnsignale meist zunächst ignoriert werden, d.h. es kommt zu einer verzögerten Wahrnehmung und Reaktion (Sime 1995). Studien von Benthorn et al. weisen jedoch darauf hin, dass Notausgänge dann genutzt werden, wenn die Türen offen stehen und (im Idealfall) Tageslicht auf dem Fluchtweg zu sehen ist. Darüber hinaus würden Notausgänge dann genutzt, wenn das akustische Alarmsignal von einer Lautsprecherdurchsage gefolgt wird, in der die Nutzer aufgefordert werden, das Gebäude über die Notausgänge zu verlassen (Benthorn et al. 1999). Vertrautheit würde demgemäss keine

entscheidende Rolle für das Verhalten spielen, sondern vielmehr die Kombination und Abfolge verschiedener Informationen in der konkreten Situation.

Physisch-sensorische Eigenschaften

Für die Selbstrettung spielen auch physische und sensorische Eigenschaften eines Menschen eine grosse Rolle. So variieren die Gehgeschwindigkeiten zwischen älteren und jüngeren Menschen um fast 1 m/s. Eine ältere Frau braucht damit fast doppelt so lange für eine Wegstrecke wie ein jüngerer Mann. Im Vergleich erreichen gehbehinderte Menschen jedoch nur eine Geschwindigkeit von 0.33 m/s. Die mittlere Gehgeschwindigkeit liegt bei 1.4 m/s in beleuchteter Umgebung. Im Dunkeln verringert sich die mittlere Gehgeschwindigkeit auf rund 0.3 m/s (Martens et al 2005). In TNO-Experimenten legten die schnellsten Teilnehmer 3.1m/s zurück, die langsamsten mit 1.1 m/s nur nahezu ein Drittel der Strecke in derselben Zeit (Boer 2002). Im Rauch legen Überlebende durchschnittlich 9.1 m zurück, nur 10 Prozent der überlebenden Personen kommen weiter als 16 m (Martens et al. 2005).

Zusätzlich zum Rauch beeinträchtigt auch die Hitzeausbreitung die Selbstrettungschancen der Nutzer. Bei einer Hitzestrahlung von 25 kW/m² entstehen Schmerzen auf der Haut innerhalb von 1 Sekunde. Eine Strahlung von nur 1.8 kW/m² wird nach 80 Sekunden schmerzhaft auf der Haut (Martens et al. 2005). Hitze und Rauch führen dazu, dass Nutzer sehr schnell körperlich erschöpfen bei einem Tunnelbrand. Das Beispiel des Brands im Zürcher Bahntunnel Stadelhofen zeigt: Trotz normaler Gehgeschwindigkeiten ermüdeten die Flüchtenden bereits nach wenigen hundert Metern. Obwohl sie sofort Selbstrettungsmassnahmen ergriffen hatten, verliess viele Menschen die Kraft auf dem Weg aus dem Tunnel (Martens et al. 2005; Wenker et al. 2000).

Leicht erhöhte Kohlenmonoxydwerte können zudem dazu führen, dass die Fähigkeit zur korrekten Beurteilung einer Situation beeinträchtigt wird (Martens et al. 2005).

In diesem Zusammenhang weist unter anderem Shields darauf hin, dass in den Industrieländern ein beträchtlicher Anteil der Bevölkerung mit physischer oder sensorischer Beeinträchtigung als Strassen- respektive Tunnelnutzer berücksichtigt werden müssen (Shields 2005; Shields et al. 1995).

Der Einfluss des Geschlechts wurde bislang nur für Gebäude, aber nicht für Tunnel untersucht. Bei Bränden in Gebäuden wurde beobachtet, dass Frauen dazu tendieren andere zu warnen und zu alarmieren sowie zu evakuieren. Männer tendieren dazu, das Feuer zu löschen (Shields 2005, Papaioannou 2003). Es können keine verallgemeinernden Rückschlüsse auf das Geschlecht als Faktor für ein spezifisches Verhalten bei Tunnelbrand gezogen werden.

Dies trifft auch auf das Alter als Einflussfaktor zu. Es muss zukünftig mit einem steigenden Anteil älterer motorisierter Menschen in Tunneln gerechnet werden. Diese haben geringere physische Widerstandskräfte gegen giftige Rauchgase und bewegen sich langsamer fort (Shields 2005). Auch das Verhalten und die körperlichen Eigenschaften von Kindern müssen berücksichtigt werden. Das Verhalten von Kindern unterscheidet sich gemäss Papaioannou sehr stark vom Verhalten der Erwachsenen. Sie haben einen fehlenden Realitätssinn, sind misstrauisch und können schneller die Körperbeherrschung verlieren, Gedanken und Gefühle können vollständig paralysiert werden. Dies zeigt sich in Regungslosigkeit und Frösteln. Die meisten Kinder verhalten sich jedoch ruhig, solange ihre Eltern und Bezugspersonen ruhig bleiben (Papaioannou 2003).

6.2.3 Massnahmen

Bei der Definition von Massnahmen, die das Verhalten der Tunnelnutzer im Ereignisfall positiv beeinflussen, spielen die oben genannten Einflussfaktoren eine zentrale Rolle. Zu unterscheiden sind dabei Faktoren, die als gegeben erachtet werden müssen wie psychisch-emotionale Dispositionen, physische Eigenschaften, Objekt- oder Tätigkeitsverbundenheit, und solche, die gezielt beeinflusst werden können wie Vorwissen und Information.

Gleichzeitig müssen die Erwartungen an die Nutzer definiert werden: Wie sollen sich die Nutzer im Ereignisfall verhalten. Um Katastrophen im Fall eines Brands im Tunnel zu vermeiden, sollen die Nutzer im Tunnel:

- Umgehend das Auto verlassen und zu den Notausgängen gehen
- Auf dem Fluchtweg andere Nutzer alarmieren
- Sich schnell zurechtfinden im Tunnel – auch bei Rauch
- Auf dem Fluchtweg keine Zeit verlieren, z.B. durch die Wahl der falschen Richtung, SOS-Ruf o.ä.
- Den Tunnel durch die Notausgänge verlassen und sich umgehend in Sicherheit bringen

Nutzer vor dem Tunnel sollen nicht mehr in den Tunnel hinein fahren.

Das Ziel der zu definierenden Massnahmen ist es, die Kluft zwischen dem Soll-Verhalten und dem Ist-Verhalten zu überwinden. Noizet stellt die Differenz zwischen erwartetem und tatsächlichem Nutzerverhalten wie folgt dar (Noizet 2004):

Erwartetes Nutzerverhalten	Reales Nutzerverhalten
Nutzer nehmen Alarmsignale wahr und verstehen diese	Nutzer sind vertieft in ihre Fahraktivität Nutzer nehmen nicht unbedingt Signale wahr Nutzer zweifeln an der Realität der signalisierten Gefahr
Nutzer halten ihr Fahrzeug an unter Einhalten eines Sicherheitsabstands	Nutzer bewerten die signalisierte Gefahr bevor sie demgemäss reagieren
Nutzer handeln in Bezug auf das Feuer oder alarmieren den Betreiber	Nutzer begeben sich in Handlungen, die ihnen durch ihre ureigene Wahrnehmung/Verständnis der Situation diktiert werden (z.B. Alarm, persönliche Unterlagen zusammenstellen)
Nutzer verlassen ihr Fahrzeug	Nutzer nehmen vielfältige Risiken wahr und wägen diese gegeneinander ab (z.B. Verlust des Fahrzeugs)
Nutzer begeben sich zu den Notausgängen	... wenn sie deren Funktion wahrnehmen und verstehen ... wenn keine andere Lösung vielversprechender wirkt (z.B. Wenden, weiterfahren)
Nutzer warten Intervention der Rettungskräfte ab	Nutzer suchen Informationen über den Ablauf des Ereignisses

Mit Bezug auf die manipulierbaren Einflussfaktoren kommen die Untersuchungen im Rahmen von ACTEURS, UPTUN sowie PIARC-Studien zu dem Schluss, dass der grösste Mangel bei der Kommunikation mit den Nutzern besteht (Noizet 2004; Papaioannou 2003; PIARC 2007a). Damit sind sowohl die Informationen gemeint, die der Tunnel selbst bereithält als auch die Informationen, die Betreiber und Krisenmanager für die Nutzer im Tunnel bereithalten (Noizet 2004). Welche Anforderungen an diese Information und Kommunikation mit den Nutzern gestellt werden, soll eingehend erörtert werden in Kapitel 6.5.

Darüber hinaus fordern verschiedene Autoren eine Verbesserung der Kenntnis von Tunnel und Tunnelausstattung bei den Nutzern sowie deren Vorwissen zum korrekten Verhalten bei einem Tunnelbrand (u.a. Noizet 2004).

In der untersuchten Literatur werden drei verschiedene Ansätze verfolgt, um Kenntnis und Vorwissen der Nutzer zu verbessern:

- Berufsfahrer als Leader schulen
- Fahrschultraining und -prüfung
- Kommunikationskampagnen

Berufsfahrer als Leader

Verschiedene Autoren sehen ein spezielles Training für Berufsfahrer als geeignete Massnahme an, um jeweils eine Gruppe von Nutzern zum korrekten Verhalten zu animieren (Papaioannou 2003, PIARC 2008a, Noizet 2004). Egger fordert, Prüfungen für Berufsfahrer einzuführen, die alle fünf Jahre wiederholt werden müssen. Berufsfahrer müssten die Verhaltensregeln im Tunnel, insbesondere bei Tunnelbrand, kennen. Spezifische Tests sollten für Fahrer von Gefahrguttransporten durchgeführt werden (Egger 2005).

Dieser Ansatz versucht, sich das „Führungsverhalten“ als Einflussfaktor im Zusammenhang mit Gruppenbildung und Gruppenverhalten im Tunnel zunutze zu machen. Berufsfahrer sollen demnach im Ereignisfall eine Führungsrolle übernehmen und dadurch die Evakuierung des Tunnels beschleunigen. Im Rahmen von ACTEURS hat die Strassenbetriebsgesellschaft SFTRF im Jahr 2004 die Kampagne "Sécurité, un reflexe de pro" lanciert für die Zielgruppe der Transportunternehmen im Einzugsgebiet von SFTRF (Tunnel Fréjus und Orelle). Die Kampagne gibt Informationen zur Tunnelausstattung und richtigem Verhalten im Krisenfall. Es wurde Informationsmaterial erarbeitet und abgegeben. Gleichzeitig wurden die Ausbildungsmodule für Berufsfahrer angepasst (Noizet et al. 2006). Für die spezielle Situation der beiden Tunnel Fréjus und Orelle wurde das "sichere Verhalten" definiert und kommuniziert. Da der Tunnel zu lang ist, um mit einem brennenden Fahrzeug hinauszufahren, wurde „bei Brand anhalten“ und „Brand mit Feuerlöscher löschen“ empfohlen. Im Fall von Fréjus und Orelle kann davon ausgegangen werden, dass die Einsatzkräfte sehr schnell vor Ort sind und den Brand unter Kontrolle bringen. Es wurde festgehalten, dass im häufigen Fall eines defekten Turbos, der Rauch leicht unter Kontrolle gebracht werden kann oder von alleine aufhört. Es wurden jedoch folgende Hemmnisse gegenüber dem vorgeschlagenen Verhalten bei den LKW-Fahrern identifiziert:

- Angst, dass der Fahrer, der ein brennendes Fahrzeug im Tunnel anhält, für Folgen verantwortlich gemacht wird und mit Strafverfolgung rechnen muss.
- Tiefe Überzeugung, dass das Feuer nicht ausbrechen wird, solange das Fahrzeug in Bewegung ist (Kerzen-Effekt).
- Die potentiellen Kosten für das Abschleppen aus dem Tunnel (Unwissenheit, dass Abschleppen kostenlos ist).
- Eindruck, das Problem alleine lösen zu müssen (Unwissenheit, wie der Tunnel betrieben wird und wie die Einsatzkräfte organisiert sind (Ricard et al. 2006).

Um diese Hemmnisse zu überwinden, wurden Kartenhalter an LKW-Fahrer abgegeben, die die Sicherheitsinstruktionen für die Tunnel Fréjus und Orelle grafisch abbilden. Mit der Wahl einer grafischen Darstellung sollte das Problem der verschiedenen Sprachen in Europa umgangen werden. Die Kartenhalter sind praktisch, um die Karten für beide Tunnel aufzubewahren. Das Material wurde vorab bei der Zielgruppe getestet und für gut befunden (Ricard et al. 2006). Eine Evaluation zur Kampagne liegt zum heutigen Zeitpunkt nicht vor.

Fahrschultraining und -prüfung

Vielfach wird in der Literatur empfohlen, dass sowohl Fahrschulkurse als auch -prüfungen das richtige Verhalten im Tunnel sowie bei Tunnelbrand enthalten sollten (PIARC 2008a, Noizet et al. 2006, Egger 2005, Haack 2002, Martens et al. 2005, Boer 2002, Persson 2002). Noizet schlägt hier Weiterbildungsveranstaltungen, Einsatzübungen, lokale Information über Prospekt, Plakette oder Medien (Radio, Fernsehen, Werbekampagne) vor, um Fehlinformationen bezüglich Verhalten im Tunnel bei Ereignis zu korrigieren (Noizet 2004).

In diesem Zusammenhang sollte gemäss Martin auch der Umgang mit Feuerlöschern trainiert werden (Martin et al. 2005). Gleichzeitig gibt der Autor zu bedenken, dass das Löschen eines Autobrands durch einen Laien fraglich ist. Der Brandherd befindet sich meist unter der Motorhaube. Wird diese geöffnet, wird dem Brand Sauerstoff zugeführt, was den Brand weiter anfachen kann (Martin et al. 2005). Egger empfiehlt dagegen die Handlungsoption "brennendes Auto aus dem Tunnel herausfahren" sowohl bei Informationskampagnen als auch im Fahrschulunterricht zu implementieren (Egger 2005). Dies zeigt die Schwierigkeit zu definieren, was „das richtige Verhalten“ im Brandfall in einem Tunnel sein soll, das Allgemeingültigkeit besitzt. In die gleiche Richtung argumentiert Persson. Festgelegt werden sollte das richtige Verhalten wie folgt: Abstand halten, Feuer löschen mit Handfeuerlöschern aus dem eigenen Wagen oder aus dem Tunnel, andere Nutzer alarmieren, warnen und retten. Dies sollte Bestandteil der Fahrschulkurse und -Prüfungen für den Führerschein sein (Persson 2002).

Kommunikationskampagnen

Neben Noizet und anderen schlussfolgern auch Boer und Martens, dass Tunnelnutzer besser informiert und trainiert werden sollten. Insbesondere das Wissen zur Sicherheitsausstattung eines Tunnels sollte daher nicht nur in Fahrkursen, sondern auch in Kommunikationskampagnen vermittelt werden (Boer 2002, Martens et al. 2005, Persson 2002). PIARC empfiehlt darüber hinaus Simulator-Anwendungen in Fahrkursen, damit die Nutzer einen realistischen Eindruck von der Fahrsituation im Tunnel im Ereignisfall erhalten können. Ebenso sollte Wissen bezüglich Radionutzung im Tunnel vermittelt werden (PIARC 2008a).

Haack und Egger setzen auf Informationskampagnen in Zusammenarbeit mit den wichtigsten Partnern im Strassenverkehr, um bei Tunnelnutzern Wissen und Handeln im Ereignisfall zu verbessern. Diese sollten auf regelmässiger Basis organisiert und implementiert werden (Egger 2005, Haack 2002). Nach Haack sollten dabei Informationen zu Verhalten im Tunnel und bei Brand regelmässig über Print- und elektronische Medien sowie über Kanäle der Automobilclubs, Autobahnpolizei und Regierung verbreitet werden (Haack 2002).

Die Japan Highway Public Corporation hat ein Besucherzentrum zum Thema Tunnelsicherheit eingerichtet in der Nähe des grössten Autobahntunnels des Landes, der sich in einer beliebten Ausflugsregion befindet. Hier können Besucher eine "echte" Tunnelerfahrung mit den Sicherheitseinrichtungen im nachkonstruierten Tunnel machen. So können Verhaltensregeln gelernt und die Funktionsweise eines Feuerlöschers einstudiert werden (mittels Videokonsole). Unklar ist jedoch, inwieweit dadurch tatsächlich das Handlungsvermögen der Nutzer im Ereignisfall positiv beeinflusst wurde (Yoshimori et al. 1995). Ebenso wurde auf den Raststätten vor den beiden Tunnelportalen des Gotthard-Strassentunnels in Erstfeld und Airole je ein Informationsparcours zum Thema Tunnelsicherheit für Verkehrsteilnehmer errichtet. Nutzer werden informiert über sicherheitstechnische Einrichtungen und das richtige Verhalten im Ereignisfall. Jedoch existiert bis heute keine Auswertung, was diese Massnahme bewirkt hat (Steiner 2008). Dazu ist zu berücksichtigen, dass Individuen in der Regel nicht sehr interessiert sind respektive sich nicht stark mit Katastrophen beschäftigen, bevor diese eintreffen (Quarantelli 1999). Dies stellt das Interesse und die Aufnahmebereitschaft von Nutzern bezüglich Informationen zu Verhalten im Brandfall in Frage.

6.3 Betreiber

In der vorwiegend englischsprachigen Literatur wird die Funktion des Operators beschrieben. Die Aufgaben des Operators wie sie in der Literatur dargestellt werden, finden sich in der Praxis häufig aufgeteilt auf zwei verschiedene Organisationseinheiten, die Betriebsleitzentrale mit Zuständigkeit für den technischen Betrieb und Unterhalt des Tunnels und die Verkehrsleitzentrale mit Zuständigkeit für Verkehrssicherheit im Tunnel. In der vorliegenden Untersuchung werden die Aufgabengebiete von Betriebs- und Verkehrsleitzentrale analog zur Verwendung des Begriffs "Operator" der Funktionsbezeichnung "Betreiber" zugeschrieben.

6.3.1 Beobachtetes Verhalten

Folgende Verhaltensweisen wurden bei Betreibern in Ereignisfällen beobachtet:

- Informationsmangel betreffend Ereignissituation
- Mangelnde Kenntnis Abläufe
- Hemmnis: komplexes Interface Design
- Mangelnde Koordination: Betriebszentrale, Einsatzkräfte
- Mangelnde Kommunikation: Information Nutzer

Aus PIARC-Berichten geht hervor, dass die Zeit bis zur Beurteilung der Notsituation durch den Betreiber in der Zentrale mehrere Minuten dauern kann. Dies kann verschiedene Ursachen haben wie kurzzeitige Abwesenheit des Betreibers, schlechtes Interface Design der Leitzentrale oder ineffiziente Prozesse (PIARC 2008b). Für Mitarbeitende in der Zentrale ist es schwierig, die Situation im Tunnel aus der Ferne zu beurteilen: Sie können nicht riechen, hören oder fühlen, was im Tunnel vor sich geht (Rauch, Hitze). Eine Verzögerung der Situationsbeurteilung kann auch durch eine objektive Beeinträchtigung der Wahrnehmung hervorgerufen werden. Die Perspektive der Kameras ist begrenzt. Im Westerschelde-Tunnel wurde so die Sicht auf einen tödlichen Unfall durch einen Lastwagen versperrt (Martens et al. 2005). Martens weist auch darauf hin, dass der Betreiber in der Zentrale als menschliches Wesen ähnlichen Prozessen unterworfen sei wie die Nutzer im Tunnel. Es muss davon ausgegangen werden, dass Betreiber dazu tendieren, eine begonnene Aufgabe zu beenden, selbst wenn eine dringendere oder ernsthaftere Aufgabe hinzukommt. Das bedeutet, dass auch ein Betreiber oder ein Mitarbeiter der Verkehrsleitzentrale erst auf ein Ereignis reagiert, wenn ihm von aussen mitgeteilt wird, dass dies eine gefährliche Situation ist. Betreiber sind dabei auf Alarmsignale von technischen Einrichtungen oder Notrufe angewiesen (Martens 2005; Papaioannou 2003).

Die Koordination und effiziente Zusammenarbeit zwischen Betreibern und Einsatzkräften wird in der Literatur immer wieder als verbesserungsbedürftig beschrieben: die Qualität der Informationen zwischen der Leitzentrale und den Einsatzkräften sei manchmal zweifelhaft (PIARC 2008A). Im Mont Blanc-, Gotthard- und im Tauertunnel wussten die Betreiber nicht, wie viele Personen sich im Tunnel befinden (Voeltzl, Dix 2004). Im Mont Blanc-Tunnel war die Ventilationsstrategie zwischen italienischer und französischer Seite nicht abgestimmt respektive die Italiener hielten sich nicht an die vereinbarte Strategie (Voeltzl, Dix 2004).

Mangelnde Kommunikation und Information gegenüber den Nutzern ist ein weiterer Punkt, der in der Literatur mehrfach angesprochen wird. Aus Ereignisberichten geht hervor, dass Betreiber zum Teil verwirrende Informationen herausgeben (Martens et al. 2005). Zudem sind die zuständigen Personen in der Betriebs- oder Verkehrsleitzentrale nicht ausgebildet, um mit der Öffentlichkeit zu kommunizieren. Daher sprechen sie häufiger mit nervöser, zitternder Stimme, wo keine vorgefertigten Standard-Ansagen zur Verfügung stehen (Martens et al. 2005).

6.3.2 Einflussfaktoren

Folgende Faktoren beeinflussen das Verhalten der Betreiber in einem Ereignisfall:

- Information über Situation im Tunnel
- Fähigkeit, Eigenschaften (Anforderungsprofil, Rekrutierung)
- Wissen zu Abläufen, Technik, Zuständigkeiten
- Training und Routine
- Personalausstattung und Arbeitsbelastung des einzelnen Mitarbeiters
- Prozesse (definiert/undefiniert)

Information über Situation im Tunnel

Zeitliche Verzögerungen in der Wahrnehmung, Beurteilung und Reaktion der Betreiber auf Ereignisse werden unter anderem damit begründet, dass anormale Prozesssituationen gegebenenfalls ignoriert werden. Wenn die eigene Einschätzung von den Signalen des Instruments abweicht, wird davon ausgegangen, die Maschine sei kaputt (Papaioannou 2003).

Fähigkeit, Eigenschaften (Anforderungsprofil, Rekrutierung)

Die Auswahl des Personals bestimmt über die Qualität der Arbeitsweise und hat damit einen Einfluss auf die Verhaltensweisen des Personals im Ereignisfall. Betreiber benötigen gemäss Gillard ein persönliches Gespür für eine Situation und angemessene Reaktionsweisen (Gillard 1998).

Wissen zu Abläufen, Technik, Zuständigkeiten

Das Wissen darüber, in welchem Fall welcher Prozess abläuft, welche Technik eingesetzt wird und wie diese zu handhaben ist, wer für welche Aufgaben zuständig ist, ist entscheidend für den Verlauf eines Ereignisses (vgl. Gillard 1998). Im Eurotunnel hatte die verantwortliche Person Vorgaben für Krisenfälle, wusste jedoch nicht welche sie anwenden sollte (Papaioannou 2003).

Training und Routine

Die Fähigkeit eines Individuums Ereignisse zu verarbeiten, ist in Notfällen eingeschränkt. Vorgegebene Abläufe werden nur dann wirksam eingehalten, wenn sie vorab gut trainiert wurden (Martens et al. 2005).

Wichtig für die Zusammenarbeit mit den Ereigniskräften sind Training und Erfahrung (Gillard 1998). Erfahrung wird auch als Faktor zur angemessenen Situationsbeurteilung genannt. Ein erfahrener Betreiber oder Mitarbeitender der Verkehrsleitzentrale kann eine Situation in kürzerer Zeit einschätzen (Papaioannou 2003). Allerdings – wendet Papaioannou ein – verlässt sich eine erfahrene Person stärker auf das eigene Urteilsvermögen als auf die Signale, die er von den technischen Instrumenten erhält (ebda.).

Personalausstattung und Arbeitsbelastung des einzelnen Mitarbeiters

Generell besteht die Schwierigkeit, bei der repetitiven Aufgabe des Monitoring die Aufmerksamkeit beizubehalten. Langeweile und Müdigkeit entstehen. Ein gewisser Grad an Aufmerksamkeit ist jedoch erforderlich, um im Ereignisfall schnell von einer repetitiven Aufgabe (Monitoring) zu einer aktiven zu wechseln. Hier braucht es einen Bewusstseinszustand und eine innere Bereitschaft, um unter Druck im Ereignisfall die richtige Reaktion aufzuweisen (Gillard 1998). Gillard geht davon aus, dass dies durch eine entsprechende technische Ausstattung wie auditive oder visuelle Warnsysteme, z.B. über CCTV-Kameras, die automatisch ungewöhnliche Situationen fokussieren, unterstützt werden kann (ebda.).

Prozesse

Die Komplexität der Prozesse beeinflusst die Art und Geschwindigkeit der Reaktion des Betreibers auf einen Ereignisfall. Beim Brand im Eurotunnel waren die Vorgaben, die das Kontrollzentrum anwenden sollte, zu schwierig, zu komplex, es waren zu viele und sie waren nicht leicht verständlich präsentiert, um dies in der Kürze der Zeit korrekt umzusetzen (Martens et al. 2005). Generell gilt: Wenn die Informationsmenge zu gross ist, um bearbeitet zu werden, fokussieren Menschen auf einen Ausschnitt an Informationen. Dies führt gemäss Papaioannou zu einer Qualitätseinbusse bei den zu treffenden Entscheidungen (Papaioannou 2003). Insbesondere tendierten Menschen in der Krise dazu, sich auf negative Informationen zu konzentrieren, nämlich der Reduktion von Bedrohung und Risiko (ebda.). Eine Vereinfachung der Prozesse sollte daher angestrebt werden.

Für die Führung von Verhalten, insbesondere in der Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Organisationseinheiten sind die formalen und informalen Organisationsstrukturen wichtig. Wenn die Kommunikationsstrukturen einer Organisation schwach sind, werden sie auch in einem Notfall schwach bleiben. Als Beispiel nennt Martens den Fall eines Tunnelunfalls in Baltimore, bei dem die Feuerwehr erst über eine Stunde später benachrichtigt wurde (Martens et al. 2005).

Die Bedeutung der organisationsübergreifenden Zusammenarbeit und ihrer Prozesse zeigt sich auch am Beispiel des Brands im Mont Blanc-Tunnel: Die Ventilationsstrategie zwischen italienischer und französischer Seite war nicht abgestimmt respektive die Italiener hielten sich nicht an die vereinbarte Strategie (Voeltzl, Dix 2004). Wichtig für die reibungslose Zusammenarbeit ist auch die Qualität der Information, die im Rahmen des Kommunikationsprozesses zwischen der Leitzentrale und den Einsatzkräften ausgetauscht wird: Es wurde festgestellt, dass die Qualität der Informationen manchmal zweifelhaft ist (PIARC 2008b).

6.3.3 Massnahmen

Betreiber werden als Zielgruppe in einem professionellen Umfeld angesprochen. Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Faktoren werden daher als grundsätzlich beeinflussbar angesehen.

Es sollen Massnahmen definiert werden, die dazu führen, dass Betreiber

- die Art, die Lage und das Ausmass eines Ereignisses umgehend erkennen
- Nutzer und Einsatzkräfte in kürzester Frist alarmieren und informieren
- während des Ereignisses mit den Einsatzkräften kommunizieren.

Im Rahmen des Projekts UPTUN wurden folgende Bereiche und Prozesse identifiziert, um die oben formulierten Anforderungen an den Betreiber in der Praxis erfüllen zu können (Martens et al. 2005):

- Optimierung der kognitiven Arbeitsbelastung
- Personalrekrutierung
- Weiterbildung und Training
- Personalausstattung und Organisation
- Aufgabenunterstützung
- Kontrollraum und Interface-Design

Konkret werden von verschiedenen Autoren folgende Massnahmen empfohlen:

- Limitierung der Pflichten des Betreibers auf wenige Stunden am Stück
- Mindestens eine Zwei-Mann-Besetzung der Zentrale pro Schicht mit Rollentausch alle paar Stunden
- Zwingend aktive Aufgaben über die Überwachung hinaus stellen
- Zeit, die zur Ausführung einer Aufgabe erforderlich ist, reduzieren.
- Die Anzahl an unterschiedlichen Aufgaben reduzieren.
- Alle relevanten Kontrollmasken, Schalter, Telefone usw. können mit einem Griff erreicht werden
- Die Anzahl eingehender Signale begrenzen auf die für das Ereignismanagement relevanten
- Ein Standardvorgehen für die Benachrichtigung der Rettungsdienste
- Klare Entscheidungskriterien, um eine Balance zu finden zwischen Fehlalarm und zu langen Reaktionszeiten
- Klare Evakuierungsrichtlinien: ab welchem Ereignisgrad und in welchem Fall wird der Tunnel evakuiert
- Regelmässige Übungen und Training basierend auf diesen Abläufen. (vgl. Papaioannou 2003, Martens et al. 2005; Fargione et al. 2006; Boer 2002).

Alle vorgeschlagenen Massnahmen zielen auf die Optimierung der kognitiven Arbeitsbelastung der Betreiber sowie auf eine Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen Betreibern und Einsatzkräften.

6.4 Ereignisdienste

Unter den Ereignisdiensten werden Polizei, Feuerwehr und Sanitätsdienste verstanden. Für die Rettung der Tunnelnutzer ist primär das Verhalten der Feuerwehr relevant. Diese operiert im Tunnel selbst und kann den Verlauf des Ereignisses mit Löschen und Retten beeinflussen. Im Folgenden stehen daher Verhalten und Einflussfaktoren der Feuerwehr im Vordergrund.

6.4.1 Beobachtetes Verhalten

Bei Ereignissen beobachtet wurden die folgenden Verhaltensweisen:

- Informationsmangel betreffend Situation oder Tunnelausstattung
- Mangel an Spezialausrüstung
- Physische Limitation
- Begrenzte Rettungsmöglichkeiten

Die Auswertung von acht Grossereignissen zeigt: Einsatzkräfte werden in der Regel innert weniger Minuten nach Eingang des Brandalarms von der Verkehrsleitzentrale alarmiert. Bei Stationierung am Tunnel oder in der Nähe des Tunnels treffen die Ereignisdienste innert 2-5 Minuten ein. Bei Stationierung in der Umgebung (Ortsfeuerwehr) treffen die Ereignisdienste in 5 bis 20 Minuten ein (BUWAL 2000). Dies ist jedoch nur bei einigen wenigen grossen Tunneln der Fall wie beispielsweise am Gotthard. Am Gotthard-Strassentunnel sind die Kantone Uri und Tessin gemeinsam für Unterhalt und Betrieb zuständig. Daran beteiligt sind Polizeidienste, Schadenwehrdienste und Sanitätsdienst (Notruf 144). Die Polizeizentrale ist rund um die Uhr besetzt, eine Polizeipatrouille mit zwei Mann ist als Ersteinsatzpikett für die Rampenstrecken und den Tunnel im Einsatz. Vier Mann sind bei den Schadenwehrdiensten rund um die Uhr an beiden Tunnelportalen einsatzbereit. Ihre Aufgaben umfassen das Retten/Bergen von Unfallopfern sowie die Brandbekämpfung im Tunnel und auf den Zufahrtsrampen. Es bestehen Vereinbarungen mit den Notrufzentralen der Kantone Uri und Tessin für den Ersteinsatz der Ambulanz von Airolo (Steiner 2008).

Häufig sind die ersten vor Ort nicht die erfahrensten Feuerwehrleute und Einsatzleiter. Die erfahreneren und eine ausreichende Anzahl an Rettungskräften treffen erst zu einem späteren Zeitpunkt ein. Dies stellt eine Schwierigkeit für die Einsatzplanung dar (Burns 2005).

Im Tauerntunnel und im Mont Blanc-Tunnel konnten die ersten Feuerwehrleute nicht nahe ans Feuer weil der Rauch sie stoppte (Voeltzl, Dix 2004). Beobachtungen aus Ereignisberichten zeigen auch, dass sich die Rettungskräfte aufgrund zu starker Rauchbildung zurückziehen. Beim Brand im Mont Blanc-Tunnel 1999 wurden die Feuerwehrleute vom Kontrollzentrum angewiesen, sich in eine Sicherheitszone zurückzuziehen aufgrund starker Rauchbildung. Die Rettungsaktion wurde durch die Brandentwicklung vor Ort stark eingeschränkt. (Shields 2005). Ebenso kommt es dazu, dass die Feuerwehrleute sich gegenseitig retten und nicht bis zum Brandherd respektive bis zu den Betroffenen durchkommen, zum Beispiel weil nicht genügend Ausrüstung zur Rettung vorhanden ist. Beim Brand im Mont Blanc-Tunnel 1999 hatten nur vier von sechs Feuerwehrleuten Atemgeräte. Dies ist ausreichend bei Bränden in Gebäuden, jedoch nicht bei einem Tunnelfeuer. Dies und die Rauchentwicklung im Tunnel führten dazu, dass die Rettungsteams damit beschäftigt waren sich selbst respektive gegenseitig zu retten (Shields 2005).

Für einen erfolgreichen Einsatz ist die Feuerwehr auf möglichst detaillierte Informationen zur Situation im Tunnel angewiesen. Der Informationsbeschaffung vor dem eigentlichen Einsatz kommt daher eine grosse Bedeutung zu. Bergquist beschreibt den Ablauf eines Feuerwehreinsatzes. Es wird deutlich, wie wichtig die Selbstrettung für die Tunnelnutzer im Ereignisfall ist (Bergquist et al. 2005): Auf dem Weg zum Tunnel wird die Entscheidung getroffen, durch welchen Zugang die Rettungskräfte an den Brandherd und die zu rettenden Personen herangehen. Hier stellen sich folgende Fragen (Bergquist et al. 2005; Leitner 2001):

- Wo befinden sich die Menschen im Tunnel? Was wird benötigt, um sie herauszuholen?
- Wie gross ist das Feuer, wie gross die Brandlast und wie kann sie unter Kontrolle gebracht werden?
- Welche Risiken bestehen für Feuerwehr und Rettungskräfte? Kann das Feuer plötzlich entfachen (Stichflamme)? Kann der Tunnel zusammenbrechen?
- Wie weit kommen Feuerwehrleute mit Atmungsgeräten?
- Wie können Feuerwehrleute den Rauch am besten aus dem Tunnel entfernen?

Der Einsatzleiter kontaktiert die Notrufzentrale, um zusätzliche Informationen zu erfragen, die die Person geliefert haben könnte, welche den Alarm ausgelöst hat. Gleichzeitig fordert er Verstärkung von Polizei, Feuerwehr, Sanität. Er trifft die Entscheidung, von welcher Seite und über welchen Zugang die Einsatzkräfte in den Tunnel gehen auf der Basis von Windrichtung und vorliegenden Informationen (Bergquist et al. 2005). Diese basieren in der Regel auf Aussagen von Augenzeugen im Tunnel, die beschreiben, aus welcher Richtung der Rauch kommt, aber keine weiteren Angaben machen können. CCTV-Aufzeichnungen haben neben der Branddetektion daher eine grosse Bedeutung als zusätzliche Informationsquelle (was, wann, wo, Verlauf). Für die Einsatzkräfte ist es schwierig, die Situation von aussen abzuschätzen und ein koordiniertes Vorgehen zu etablieren. Die geographische Weitläufigkeit des Tunnels erschwert dies insbesondere dann, wenn Feuerwehr und Rettungskräfte von mehreren Seiten das Feuer eingrenzen müssen. Der Grossbrand im Mont Blanc-Tunnel zeigt was passiert, wenn die Koordination zwischen den Einsatzkräften - hier den französischen und italienischen Feuerwehr- und Rettungskräften – nicht funktioniert (ebda.).

Nach Eintreffen der Feuerwehr am Tunnel wird als erstes ein Informationstrupp losgeschickt, um die Situation vor Ort zu klären. Dieser Trupp ist ausgerüstet mit Atemschutzgeräten gegen den Rauch, aber nicht mit schwerem Löschgerät. Zu diesem Zeitpunkt sind bereits 25 Minuten vergangen seit der Alarm ausgelöst wurde. Der Informationstrupp muss Fragen zur Situation vor Ort beantworten, damit der Einsatzleiter den Einsatz planen kann. Wichtige Fragen sind:

- Wie lang ist der Tunnel,
- wo im Tunnel befindet sich der Brandherd,
- wo im Tunnel befinden sich Menschen,
- wie gross ist der Brand und wie entwickelt er sich,
- in welche Richtung weht der Luftstrom,
- wie ist der Tunnelverlauf,
- welche Zugangsmöglichkeiten zum Tunnel gibt es? (Bergquist et al. 2005).

Diese Fragen klärt der Einsatzleiter u.a. mit dem Tunnelbetreiber. Häufig wird der Einsatzleiter einen zweiten Trupp an das andere Tunnelende senden für weitere Informationen. Von diesen Trupps erhält er Rückmeldung rund 40-45 Minuten nach Alarm. Unter Umständen muss der erste Informationstrupp sich zurückziehen aufgrund starker Rauchentwicklung und fehlenden Sicherheitsrückhalts (ebda.).

Für das weitere Vorgehen stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Der Einsatzleiter muss schnell entscheiden, welche Kombination aus Feuer löschen, Rauchextraktion, Belüftung und Rettung bzw. Unterstützung der Flüchtenden angewendet werden soll (ebda.).

6.4.2 Einflussfaktoren

Folgende Faktoren beeinflussen das Verhalten der Einsatzkräfte:

- Standort und Verkehrssituation
- Information über Situation im Tunnel (Lage Feuer, Hitze, Rauch)
- Kooperation mit Betreiber und anderen Einsatzkräften
- Personalausstattung
- Wissen (Abläufe und Zuständigkeiten; Fachwissen Brandbekämpfung im Tunnel)
- Physische Eigenschaften
- Training und Routine
- Vertrautheit mit spezifischem Tunnel
- Technische Ausrüstung

Standort und Verkehrssituation

Grossbrände breiten sich insbesondere nach 5-10 Minuten stark aus. Damit die Feuerwehr einen Brand unter Kontrolle bringen kann, sollte daher innerhalb der ersten 10 Minuten mit dem Löschen begonnen werden (Rosmuller et al. 2005). Der Standort und die Verkehrssituation bestimmen, wie lange es dauert bis die Feuerwehr nach der Alarmierung im Ereignisfall am Tunnel eintrifft (Gillard 1998). Bei Stationierung am Tunnel oder in der Nähe des Tunnels treffen die Ereignisdienste innert 2-5 Minuten ein. Bei Stationierung in der Umgebung (Ortsfeuerwehr) treffen die Ereignisdienste in 5 bis 20 Minuten ein (BUWAL 2000).

Information über Situation im Tunnel (Lage Feuer, Hitze, Rauch)

Die Informationen über die Lage des Brandes, dessen Ausbreitung, die Rauch- und Hitzeentwicklung sowie die Anzahl Personen im Tunnel sind entscheidend für die Einsatzleitung. Sie bilden die Grundlage dafür, ob, wie schnell und von welcher Seite die Feuerwehr in den Tunnel geht.

Der Mangel an Informationen und der Entscheidungszwang unter Zeitdruck führen zu Fehlentscheidungen bei Einsätzen im Tunnel (Vardy et al. 1998). Problematisch wird dies insbesondere dann, wenn Einsatzleiter ihre Fehlentscheidungen nicht bei den ersten Anzeichen, dass die getroffene Entscheidung nicht die richtige war, revidieren. Vardy begründet dies damit, dass Menschen dazu tendieren einmal getroffene Entscheidungen beizubehalten ungeachtet widersprechender Anzeichen (Vardy et al. 1998).

Kooperation mit Betreiber und anderen Einsatzkräften

Verschiedene Katastrophen zeigen, dass der Mangel an Koordination und Kommunikation, Kontroversen über Kompetenzen und Zuständigkeiten sowie bedenkliche Fehlentscheidungen der Rettungskräfte zum Krisenverlauf beigetragen haben (Papaioannou 2003). Im Mont Blanc-Tunnel betrat die Feuerwehr den Tunnel von beiden Portalen aus mit unzureichenden Anweisungen und Ausrüstung und wurde für mehrere Stunden eingeschlossen. Im Tauerntunnel führte ein Missverständnis zwischen Leitzentrale und Feuerwehr dazu, dass die Feuerwehr zunächst den falschen Standort ansteuerte und so erst 15 Minuten nach dem Alarm eintraf (Voeltzl, Dix 2004).

Personalausstattung

Gemäss Rosmuller würden heute von den Rettungskräften Leistungen verlangt, für die diese weder ausreichend Kapazität und geeignete Arbeitsmethoden noch Personal und Ausstattung hätten (Rosmuller et al. 2005).

Wissen (Abläufe und Zuständigkeiten; Fachwissen Brandbekämpfung im Tunnel)

Das Wissen über Tunnel spezifische Abläufe im Ereignisfall sowie zur Brandbekämpfung im Tunnel – im Unterschied zu einem anderen Gebäude – sind massgeblich für das Verhalten der Einsatzkräfte im Brandfall sowie für deren Einschätzungsvermögen über Handlungsoptionen in der Ereignissituation. Gemäss Vardy et al. stehen betroffene Einsatzleiter stehen vor dem Dilemma "viele retten und Tod weniger dabei in Kauf nehmen" versus "Versuch alle zu retten mit Risiko, dass alle sterben" (Vardy et al. 1998).

Physische Eigenschaften

Die Gegebenheiten im Tunnel beeinträchtigen die Möglichkeiten der Feuerwehrleute zu handeln. Obwohl die Feuerwehrleute Schutzanzüge tragen gegen Rauch und Hitze, können sie sich nicht lange Zeit in Räumen mit hohen Hitzegraden aufhalten. In Experimenten wurde gezeigt, dass ein Aufenthalt von rund 7 Minuten möglich ist bei einer Hitzeladung von maximal 5 kW/m². Ein Aufenthalt von 20 Minuten ist möglich bei einer maximalen Hitzeladung von 2 kW/m² (Rosmuller et al. 2005). Die Ausrüstung von Feuerwehrleuten ist schwer. Sie behindert die Fortbewegung stark. Fortbewegungsgeschwindigkeiten von Feuerwehrleuten mit Atmungsgeräten betragen in der Gruppe 6m/min und erlauben das Zurücklegen von 80m (ein Weg). Tests von Feuerwehreinheiten in Schweden haben gezeigt, dass die maximale Distanz, die zurückgelegt werden kann mit einem Atmungsgerät in der Gruppe 125m beträgt, bevor es zu schwer wird, den Schlauch zu ziehen (Bergquist et al. 2005). Feuerwehrleute, die Atmungsgeräte tragen, können im Rauch gefüllten Tunnel mit einem leeren Schlauch maximal 58 Meter laufen bei einer Gehgeschwindigkeit von 4,3 m/min. Für eine Wegstrecke von weniger als 60 Metern benötigen sie damit fast eine Viertelstunde. Im Rauch freien Tunnel können Feuerwehrleute ohne Schlauch etwa 1000 Meter laufen bei einer Gehgeschwindigkeit von 80 m/min. Damit können sie eine Strecke von höchstens 500 Metern zurücklegen, bevor sie umkehren müssen, weil sie körperlich erschöpft sind respektive ihre Atmungsgeräte wieder auffüllen müssen (Rosmuller et al. 2005). Für diese Wegstrecke benötigen sie ebenfalls rund 14 Minuten.

Somit sind die Handlungsmöglichkeiten begrenzt durch die physischen Gegebenheiten der Feuerwehrleute: Die Ausrüstung ist schwer, die Körpertemperatur erhöht sich darin stark, die Sauerstoffflaschen reichen nur für 30 Minuten. Ein Rettungseinsatz ist eine anspruchsvolle körperliche Tätigkeiten: schweres Gerät tragen, ziehen, Rauchgase und schlechte Sicht. Tests zeigen, dass zwei Feuerwehrleute eine verletzte Person in einem Tunnel ca. 300 m auf einer Bahre tragen können, bevor sie selbst zu erschöpft sind um weiterzugehen oder eine andere Tätigkeiten auszuführen (Bergquist et al. 2005).

Training und Routine

Für einen erfolgreichen Einsatz und Gewährleistung der Sicherheit ist Training und eine gute Routine wichtig. Neben der technischen Ausstattung bestimmt die regelmässige Einsatzübung die Einsatzbereitschaft eines Rettungsteams (Gillard 1998).

Vertrautheit mit spezifischem Tunnel

Die Vertrautheit mit dem Tunnel nennt Gillard als einen der entscheidenden Faktoren, die die Geschwindigkeit und Qualität des Einsatzes beeinflussen. Dies bezieht sich insbesondere auf die Orientierung im Tunnel und die Kenntnis der Zugangswege (Gillard 1998). Im PIARC-Bericht werden Vorfälle genannt, in denen Rettungskräfte den Grundriss des Tunnels nicht kannten, in dem die Intervention stattfinden sollte. Sie hatten den Tunnel nie zuvor besichtigt. Aus den Aussagen befragter Rettungskräfte nach einem Einsatz im Tunnel kann geschlossen werden, dass diese die Funktionsweise bestimmter Tunnel nicht verstanden haben. Von Seiten der Rettungskräfte wurde bei diesen Befragungen die Notwendigkeit betont, sie bereits bei der Planung des Tunnels mit einzubeziehen (PIARC 2008b). Rosmuller sieht hier ebenfalls Handlungsbedarf bezüglich der frühzeitigen Kommunikation zwischen Sicherheitsplanern und Rettungskräften (Rosmuller et al. 2005).

Technische Ausrüstung

Ob genügend technische Ausrüstung vorhanden ist, entscheidet darüber wie viele Rettungsleute über welchen Zeitraum in Tunnel im Einsatz sein können.

Martens führt Beispiele aus King's Cross und Chamonix an, bei denen sich Rettungskräfte ohne Atmungsgeräte im Rauch gefüllten Tunnel befanden und starben oder Rettungskräfte, die entgegen der Vorschriften allein anstatt zu zweit in den Tunnel gingen (Martens et al. 2005). Hier spielte nicht nur die Fehlentscheidung "ohne Ausrüstung in den Tunnel gehen" eine Rolle, sondern auch der Mangel an entsprechender Ausrüstung (Martens et al. 2005). Voeltzl und Dix beschreiben ähnliche Beispiele (Voeltzl, Dix 2004).

6.4.3 Massnahmen

Ebenso wie die Betreiber werden auch die Einsatzkräfte als Zielgruppe in einem professionellen Umfeld angesprochen. Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Faktoren werden daher als grundsätzlich beeinflussbar angesehen.

Um Katastrophen im Fall eines Brands im Tunnel zu vermeiden, sollen die Einsatzkräfte während des Einsatzes untereinander und mit dem Betreiber kommunizieren. Dazu sind entsprechende Kommunikationssysteme erforderlich.

Darüber hinaus empfehlen die Autoren der PIARC-Berichte eine möglichst nahe Stationierung von Feuerweereinheiten am Tunnel. Sobald ein Feuer länger als 11 bis 14 Minuten brennt, besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Grossbrand entwickelt, der nicht mehr von der Feuerwehr unter Kontrolle gebracht werden kann. Die Geschwindigkeit mit der die Feuerwehr am Brandherd eintrifft ist damit von zentraler Bedeutung für den Ereignisverlauf. Damit die Einsatzkräfte schnell vor Ort sein können, sollten sie in geringer Entfernung zum Tunnel stationiert sein. Für Tunnel mit hohem Verkehrsaufkommen und viel Schwerverkehr sollte in Erwägung gezogen werden, die Notfallzentrale bei der Feuerwehr anzusiedeln (PIARC 2008b; PIARC 2007a). Beste Reaktionsmöglichkeiten sind gegeben, wenn Rettungskräfte an beiden Seiten des Tunnels stationiert sind. Das Beispiel des Grossbrands im Gotthardtunnel zeigt jedoch, dass selbst bei schnellster Reaktion vor Ort stationierter Rettungskräfte der Handlungsspielraum eingeschränkt ist.

Nach Einschätzung Bergquists und Burns sind Europäische Feuerweereinheiten heute nicht zahlreich genug und nicht gut genug ausgerüstet, um bei Rauch eine Vielzahl Personen aus dem Tunnel zu retten. Die besten Chancen auf Überleben bestehen auch hier durch Selbstrettung (Bergquist et al. 2005, Burns 2005). Bergquist et al. schliessen aus dieser Situation, dass sich Feuerwehr und Einsatzkräfte auf die richtige Belüftung des Tunnels und den Rauchabzug konzentrieren sollten, um den sich Evakuierenden die Flucht zu ermöglichen (Bergquist et al. 2005). Die Einflussnahme der Einsatzkräfte auf die Belüftung des Tunnels ist in Literatur und Praxis jedoch umstritten.

Burns setzt hingegen auf den Einsatz von Rapid Response Teams, die vor Ort stationiert sind und über Fahrzeuge verfügen, die mit Feuerlösch-, Rettungs-, medizinischem Equipment und Atmungsgeräten ausgerüstet sind. Diese können im Ereignisfall sofort reagieren und kennen den Tunnel, seine technische Ausstattung sowie Rettungs- und Notfallpläne genau. Sie können kleinere Brände schnell löschen bevor sich diese ausbreiten. Ebenso können diese Teams die Führungsrolle gegenüber dem Nutzer, aber auch gegenüber eintreffenden Rettungsteams, übernehmen (Burns 2005). Wichtig ist, dass auch die Einsatzkräfte untereinander im Ereignisfall spezifische, koordinierte Funktionen übernehmen. Lediglich eine Person sollte dabei die Einsatzleitung übernehmen (Fargione et al. 2006, Papaioannou 2003).

6.5 Anforderungen an Tunnelausstattung und Prozesse

Van Dessel schätzt, dass es aus Sicht der Nutzer wünschenswert wäre, alle Tunnel seien gleich in Grundriss, Ausstattung, Fluchtmöglichkeiten, Verfahren im Ereignisfall. In der Praxis ist dies aufgrund unterschiedlichen Baualters und unterschiedlicher geographischer Rahmenbedingungen nur schwer möglich (Van Dessel, J. et al. 2006). Bezüglich der Sicherheitseinrichtungen können aus der Literatur folgende Anforderungen und Massnahmen abgeleitet werden, die mit den oben beschriebenen Bedürfnissen von Nutzern, Betreibern und Einsatzkräften korrespondieren. Grundlegend für jedes Evakuierungssystem ist, dass die Evakuierungszeit beschleunigt wird, das System selbst bei schlechter Sicht wirksam ist, eindeutige Informationen liefert, visuelle, akustische und haptische Signale einsetzt und fehlerfrei funktioniert (Martin et al. 2005).

6.5.1 Detektion

In der Alarmierungs- und Hesitationsphase besteht bei den Nutzern das Bedürfnis nach schneller Rettung und Sicherheit, bei den Betreibern nach zuverlässigen Informationen über die Gefahrensituation. Die Qualität der Überwachungs-, Detektions- und Alarmierungstechnik beeinflusst die Geschwindigkeit und Qualität der Reaktion des Betreibers (Gillard 1998).

In der Literatur besteht Einigkeit darüber, dass Tunnel mit technischen Anlagen ausgestattet sein müssen, die eine möglichst schnelle Detektion erlauben. Diese sollten möglichst redundant sein, damit Detektion und Alarm verlässlich sind (PIARC 2008c; Høj 2006). Detektionssysteme müssen immer operabel sein. Das Beispiel des Brands im Mont Blanc-Tunnel zeigt: das CCTV auf der französischen Seite funktionierte nicht und das Branddetektionssystem auf der italienischen Seite war am Vortag aufgrund eines Fehlalarms ausgeschaltet worden. Beim Brand im Tauern-Tunnel 1999 wurden die CCTV-Kameras innerhalb weniger Minuten so stark geschwärzt, dass sie funktionslos wurden (Shields 2005).

Koch und Ramirez schlagen automatische Systeme zur Ereignisdetektion (Automatic Incident Detection AID) vor, die innerhalb von 2-10 Sekunden auf haltende oder langsame Fahrzeuge usw. reagieren (Koch, Ramirez 2005). PIARC empfiehlt solche Systeme ebenfalls in Kombination mit CCTV-Überwachung für Tunnel mit sehr hohem Verkehrsaufkommen (PIARC (2008c). Diese Empfehlung basiert auf der Erfahrung, dass in den meisten Brandfällen der Erstalarm durch CCTV- oder AID-Systeme ausgelöst wird. Systeme wie ein linearer Branddetektor reagierten hingegen nicht auf kleine oder sich fortbewegende Brände (ebda.). Auch Fargione et al. sprechen sich für kombinierte automatische Detektionssysteme mit Benachrichtigungsfunktion aus, um eine schnelle Reaktion des Kontrollzentrums sicherzustellen (Fargione et al. 2006). Ein Video-Monitoring sollte aus Sicht der Autoren vorhanden sein. Fraglich sei jedoch, ob eine automatische Detektion von stehenden Fahrzeugen sowie Verbrennungsprodukten notwendig ist. Gemäss Fargione et al. sollte ein Standard für "good practice" beim Monitoring und bei der Detektion festgelegt werden (ebda.).

Gemäss Voeltzl und Dix sowie Martin et al. sollten Rauch- und Temperatursensoren feste Bestandteile des Branddetektionssystems im Tunnel sein. Darüber hinaus muss das Detektionssystem den Brand schnell orten können (Voeltzl, Dix 2004; Martin et al 2005).

Gekoppelt an das Detektionssystem ist häufig die automatische Aktivierung von Ereignissystemen wie Fluchtwegen, Belüftung, Pumpen, Beleuchtung usw. Diese Automatik sollte im Normalfall vom Betreiber übersteuert werden können (PIARC 2007a).

Als Anforderungen an die Detektion werden folgende Massnahmen formuliert:

- Videoüberwachung und Branddetektion im Tunnel
- Akustische und visuelle Meldung in der Zentrale

6.5.2 Interface Design

Von der Alarmierungs- bis zur Evakuierungsphase sind die Betreiber darauf angewiesen, dass Ereignismassnahmen schnell und einfach gesteuert werden können. Sie müssen den Überblick behalten und sich auf die wichtigsten Massnahmen fokussieren können.

Indem zwei oder mehr Handlungen durch die Betätigung eines Schalters ausgelöst werden, kann die Anzahl an Aktionen verringert werden, die für die Ausführung einer Aufgabe erforderlich sind. Im Westerschelde-Tunnel ist dies in Form eines „Calamity Button“ gelöst (Martens et al. 2005, PIARC 2007a). Gleichzeitig sollten eingehende Alarmer und Signale, die bereits registriert wurden, vom Betreiber ausgeschaltet werden können (Martens et al. 2005). Alarmer sollten redundant in der Zentrale eingehen, d.h. visuell und akustisch (ebda.)

Hilfsmittel, die den Evakuierungsvorgang ermöglichen, wie vorgefertigte Standarddurchsagen, erleichtern die Aufgabe des Betreibers ebenso. In verschiedenen Tunneln kann der Betreiber heute bereits aus verschiedenen Standardansagen die geeignete auswählen (Martens et al. 2005).

Dies stellt folgende Anforderungen an das Interface Design:

- Die wichtigsten Steuerungssysteme mit einem Knopfdruck auslösbar
- Alle relevanten Steuerungselemente in Griffweite
- Signale limitiert und eindeutig

6.5.3 Notrufsäule / SOS-Nische

In der Alarmierungs- und der Hesitationsphase brauchen die Nutzer Hilfe und menschlichen Kontakt, ohne dabei in Lebensgefahr zu geraten. Dies stellt bestimmte Anforderungen an die Gestaltung von SOS-Nischen.

Notruftelefone sollten leicht bedienbar sein. PIARC empfiehlt, hierzu weitestgehend auf manuelle Bedienung zu verzichten. Sie sollten selbsterklärend sein und den Nutzer auf einfache Weise direkt mit dem Betreiber verbinden. Informationen, die zur Bedienung des Telefons erforderlich sind, sollten in Form von Piktogrammen gegeben werden (PIARC 2008a).

PIARC empfiehlt für eine internationale Vereinheitlichung und leichtere Erkennbarkeit durch die Nutzer, SOS-Stationen in oranger Farbe, Feuerlöscher in roter Farbe zu kennzeichnen (ebda.). Wenn eine SOS-Nische mit einer Tür versehen ist, um Verkehrslärm auszuschliessen, sollten spezielle Glasscheiben verwendet werden, um Klaustrophobie vorzubeugen. Gleichzeitig würden Tunnelnutzer so sofort erkennen, was sich hinter der Tür befindet (ebda.).

Als Alternative dazu wird der Verzicht auf eine abgeschlossene Kabine gesehen. Die Möglichkeit zur Verständigung trotz Verkehrslärm müsste stattdessen über ein Noise-Cancelling-System erreicht werden (PIARC 2008a). Diese Massnahme zielt in erster Linie darauf ab, kein falsches Sicherheitsgefühl bei den Nutzern auszulösen. Beim Brand im Tauerntunnel starben drei Personen, die sich in eine SOS-Kabine gerettet hatten in der Annahme, diese biete Sicherheit vor Rauch und Hitze. Die EU-Richtlinie fordert bereits eine klare Kennzeichnung der SOS-Kabinen als nicht sicherer Ort im Brandfall (ebda.). Auch Voeltzl und Dix sehen die Notwendigkeit einer klaren Kennzeichnung: Es dürfe keine Verwechslungsgefahr geben zwischen einer Notrufokabine und Schutzräumen oder Fluchtwegen, die belüftet sind und unter Überdruck stehen (Voeltzl, Dix 2004).

Darüber hinaus empfiehlt PIARC, den Nutzer über die Position der SOS-Nische im Tunnel sowie deren Nummer zu informieren (ebda.). Die Wirkung dieser Massnahme wurde jedoch nicht getestet. Häufig wurde beobachtet, dass die SOS-Nische aufgesucht wird, ohne dass ein Notruf abgesetzt wird, z.B. aufgrund einer Sprachbarriere. Martin et al. schlagen daher eine Überwachung der Kabinentür als Lösung vor (Martin et al. 2005; PIARC 2008a).

Generell muss die Rolle und Funktion der SOS-Nische in Zeiten zunehmender Mobiltelefonie überdacht werden. Menschen benutzen heute intuitiv ihr Mobiltelefon. Dies sollte bei der Notfallplanung berücksichtigt werden (Martens et al. 2005). Mobiltelefone bieten im Ereignisfall verschiedene Vorteile: Tunnelnutzer können den Betreiber direkt kontaktieren und informieren statt das ungewohnte SOS-Telefon zu nutzen, gehbehinderte Menschen müssen nicht erst die Nische aufsuchen, sondern können vom Auto aus einen Kontakt herstellen, während der Evakuierung könnten Betreiber das Mobilfunknetz nutzen, um Informationen an Tunnelnutzer zu senden. Eine Empfehlung in Richtung Nutzung des Mobiltelefons im Tunnel muss jedoch abgewogen werden gegenüber Aspekten der Verkehrssicherheit, die im Normalzustand das Telefonieren im Auto untersagt. Die Alarmierung des Betreibers per Mobiltelefon setzt voraus, dass der Nutzer an Kilometerposten seine Lage im Tunnel ablesen und weitergeben kann. Gleichzeitig muss beachtet

werden, dass eine Vielzahl eingehender Anrufe per Mobiltelefon die Notfallzentrale überlastet und im Ereignismanagement blockiert (PIARC 2008a; Fargione et al. 2006). Rhodes empfiehlt dennoch, Mobilfunknetze auf Strassentunnel auszuweiten, damit Nutzer schneller über Ereignisse im Tunnel informieren können (Rhodes 2006).

Als wissenschaftlich erhärtet können folgende Anforderungen an SOS-Nischen gelten:

- Selbsterklärend, ohne Sprachkenntnisse verständlich
- Klare Kennzeichnung "kein sicherer Ort bei Brand" (mehrsprachiges Schild oder Piktogramm oder keine Kabine)
- Feuerlöscher vorhanden

6.5.4 Feuerlöscher

Im Brandfall soll es den Nutzern schnell und einfach möglich sein, den Brand zu löschen, bevor sich ein Grossfeuer entwickelt. Dieses Bedürfnis besteht in der Alarmierungs- und der Hesitationsphase.

Ein Experiment von TNO zeigte, dass Strassennutzer – sofern sie die Wahl haben - den Feuerlöscher bevorzugten vor dem Feuerwehrschauch (Boer 2002; Weitenberg 2001). Diese technische Möglichkeit sollte somit bevorzugt werden.

Zur Kennzeichnung von Feuerlöschern sind heute verschiedene Piktogramme im Einsatz. Untersuchungen haben ergeben, dass das Piktogramm "Feuerlöscher mit Flammen" leichter identifiziert wird als das in der EU-Richtlinie enthaltene Piktogramm (PIARC 2008a).

Anforderungen:

- Klare Markierung: Piktogramm "Feuerlöscher mit Flammen"

6.5.5 Sperrung Tunneleinfahrt

Von der Alarmierungs- bis zur Evakuierungsphase ist es wichtig, dass Strassennutzer auf der offenen Strecke daran gehindert werden, weiter in den Tunnel hineinzufahren. Dazu benötigen diese eine eindeutige Information, dass der Tunnel gesperrt ist und was die Ursache der Sperrung ist.

Nach PIARC sollten nicht überwachte Tunnel, die mit einem Branddetektionssystem ausgestattet sind, gesperrt werden mithilfe von Rotlichtern, Barrieren und Multifunktionstafeln (VMS). Die Aktivierung dieser Massnahmen sollte unmittelbar nach der Detektion des Ereignisses erfolgen (PIARC 2008b). Voeltzl und Dix würden im Fall einer Entscheidung zwischen zwei Lösungen die physische Barriere einem rein visuellen Rotlicht vorziehen (Voeltzl, Dix 2004). Auch Shields, Rhodes, Koch und Ramirez sowie Trijssenar et al. und Martens sehen aus der Erfahrung die Notwendigkeit zu einer physischen Sperrung des Tunnels (Rhodes 2006; Koch, Ramirez 2005; Shields 2005; Trijssenar, I., Khoury, G. A., Molag, M. 2007; Martens et al. 2005). Martens weist darauf hin, dass Rotlichter weder den Tunnel physisch sperren, noch einen Grund für die Sperrung angeben. Ohne zusätzliche Information – z.B. über eine Multifunktionstafel – können Rotlichter daher leicht von Automobilisten als Fehlfunktion interpretiert werden (Martens et al. 2005).

Damit Rotlichter vor oder im Tunnel beachtet werden, empfehlen Psychologen einen frühzeitigen Hinweis darauf bereits in der Anfahrtszone von 1-1.5 km vor dem Tunnelportal, der mehrfach wiederholt wird und dynamisch ist. Der Hinweis mit dem geringsten Abstand sollte über eine Multifunktionstafel erfolgen etwa 150-200 m vor dem Tunnelportal (PIARC 2008a). ASFINAG schreibt darüber hinaus eine elektronische, frei programmierbare LED-Tafel von 3x1 m vor, die rund 15-40 m vor dem Tunnelportal über der Fahrbahn angebracht ist. Hier sollen Strassennutzer über die verschiedenen Ursachen der Tunnelsperrung informiert werden: Unfall, Panne, Geisterfahrer, usw. (Martin et al. 2005).

Aus der Literatur lassen sich demnach folgende Anforderungen an die Sperrung der Tunneleinfahrt ableiten:

- Visuell: Lichtsignalssystem für die zeitweilige Sperrung von Fahrstreifen (Rotlicht oder Chrüzlistich resp. Markierung in Form eines X)
- Physisch: Barriere
- Multifunktionstafel 150-200 m vor dem Portal

6.5.6 Information der Nutzer im Tunnel

Während aller Phasen besteht bei den Nutzern ein hohes Bedürfnis nach Information. In der Alarmierungs- und Hesitationsphase bezieht sich dieses Bedürfnis insbesondere auf die Handlungsaufforderung "Tunnel verlassen" und die Begründung "Brand".

Diese Nachricht muss die Nutzer redundant über mehrere Kanäle erreichen (visuell, akustisch), um die Aufmerksamkeit einer grösstmöglichen Anzahl Nutzer zu erregen. Dies kann mittels Durchsagen über Radio und Lautsprecher sowie mittels Text auf Anzeigetafeln geschehen (PIARC 2008a; Martin et al. 2005, Noizet 2004).

Akustische Information

Radio

Vielfach wird in der Praxis auf Anweisungen und Information über Autoradio gesetzt. Als Gegenargument zu diesem Kommunikationsmittel wird angeführt, dass nicht alle Autofahrenden Radio hören im Tunnel. Im TNO-Experiment zeigte sich, dass nur wenige Menschen das Radio nutzen, um zusätzliche Informationen zu erhalten. Dies traf im Experiment auch auf Teilnehmende zu, die vorgängig eine Informationsbroschüre zum Verhalten im Tunnelbrand gelesen hatten, in der "Radio einschalten" als Massnahme empfohlen wurde. Teilnehmende, die das Radio einschalteten, konnten sich nicht mehr an die Senderfrequenz erinnern (Martens et al. 2005). Dies zeigte sich auch in Untersuchungen von UPTUN (PIARC 2008a). Im Simulatortest schalteten lediglich 25 Prozent das Radio ein sowie 35 Prozent derjenigen, die die Informationsbroschüre gelesen hatten (Martens et al. 2005). Gemäss einer Umfrage in Norwegen hörten 36 Prozent regelmässig Autoradio, 49 Prozent hörten manchmal Radio im Auto, 15 Prozent besaßen gar kein Autoradio (Amundsen 1992). Somit könnte etwa ein Drittel der Nutzer im Tunnel verlässlich über Radiodurchsagen erreicht werden.

Martens setzt hier auf den Gruppeneffekt: Indem Menschen über Radio dazu aufgefordert werden, andere ebenfalls zu warnen und Handlungsanweisungen weiterzugeben, könnte eine genügend grosse Menge an Menschen im Tunnel erreicht werden (Martens et al. 2005).

Im Projekt ACTEURS konnte gezeigt werden, dass die Radionutzung mit der Anzahl an empfangbaren Radiosendern im Tunnel steigt. Dies zeigt unter anderem ein Vergleich zwischen den Tunneln Fréjus und Mont Blanc. Im Fréjus-Tunnel mit lediglich zwei empfangbaren Frequenzen wussten rund 64 Prozent der Nutzer, dass sie Radio im Tunnel hören konnten, nutzen dies jedoch nicht. Dagegen gaben im Mont Blanc-Tunnel mit 12 empfangbaren Radiostationen nur 27 Prozent an, kein Radio zu hören (PIARC 2008a). Kontinuierliche Information der Nutzer zum Verhalten im Tunnel über eine Radiostation, wie in einigen wenigen sehr langen Tunneln praktiziert, wird gemäss Aussagen von Tunnelnutzern als lästig empfunden. Die entsprechende Radiofrequenz wird daher nicht gewählt (ebda.).

Einige Strassenbetreiber unterhalten eigene Radiostationen, die in Tunneln überblendet werden. Befragungen von Nutzern dieser Strassen zeigten, dass rund 60 Prozent der Autofahrer diese Radiostation wählten (PIARC 2008a). Radiobotschaften sollten daher über alle Senderfrequenzen übertragen werden können via Radio-Rebroadcasting (Martens et al. 2005; PIARC 2008a). In diesem Fall sollte ein Schild vor dem Tunnelportal darauf hinweisen, das Radio im Tunnel einzuschalten. Das Schild sollte im Tunnel wiederholt werden (PIARC 2008a). Martin et al. sehen dabei die Notwendigkeit, neben Radio auch CD-Player unterbrechen zu können (Martin et al. 2005). Die Autoren der PIARC-Studie

weisen darauf hin, dass die meisten Tunnelnutzer nicht auf eine angegebene Radiofrequenz wechseln würden, sondern davon ausgehen, dass in einem Ereignisfall alle Radiofrequenzen mit Informationen durch Polizei oder Betreiber überblendet werden können (PIARC 2008a). Dennoch empfiehlt PIARC, Strassenschilder aufzustellen, die auf bestimmte Radio-Frequenzen hinweisen, wenn in einem Tunnel lediglich ein paar wenige Radiostationen überblendet und Notfallbenachrichtigungen nur über diese Frequenzen an die Nutzer im Tunnel übertragen werden können (ebda.). Diese Schilder sollten in angemessenem Abstand vor dem Tunnelportal aufgestellt werden, damit Autofahrende genügend Zeit haben, um die richtige Frequenz einzustellen. In langen Tunneln sollten die Hinweisschilder alle 1000 m wiederholt werden (ebda.). Zusätzlich sollte der Tunnel ausgestattet werden mit RDS (Radio Data System), EON (Enhanced Other Networks) und TA (Traffic Announcement) fähigen Systemen (ebda.). Mithilfe dieser Technik können Botschaften auch bei Nutzung von CD oder anderen Musikwiedergabegeräten an die Tunnelnutzer im Auto gelangen. Zudem können die übermittelten akustischen Informationen auch visuell im Display des Radiorekorders angezeigt werden (ebda.). Optimalerweise sollten Radiobenachrichtigungen bei Überblendungen bereits in der Anfahrtszone zum Tunnel empfangen werden können (ebda.).

Lautsprecher

Vielfach diskutiert wird der Einsatz von Lautsprechern im Tunnel. Einerseits werden die hohen Kosten eines solchen Systems als Hindernis angeführt, andererseits Zweifel an der Hörbarkeit und Verständlichkeit der Durchsagen aufgrund der akustischen Bedingungen (Widerhall, starke Hintergrundgeräusche) im Tunnel (Martin et al. 2005; PIARC 2008a). Evakuationsexperimente Anfang der 90er Jahre in Grossbritannien zeigten, dass die Evakuierung bei Anweisungen durch anwesendes Tunnelpersonal in Kombination mit Richtung angegebenden Durchsagen über Lautsprecher sowie Richtung angegebende Durchsagen ohne Personalanwesenheit die schnellste und effizienteste Methode der Evakuierung darstellen (Sime 1995; vgl. Huijben 1999). In den Niederlanden und in Deutschland sind Tunnel daher mit Lautsprechersystemen ausgerüstet, die eine direkte Kommunikation mit den Nutzern im Tunnel im Ereignisfall ermöglichen (Huijben 1999; Haack 2002). Dies stellt in der Praxis eine grosse Herausforderung dar, da die Geräuschkulisse im Tunnel im Brandfall sehr gross ist, wie Tests gezeigt haben. Damit das Lautsprechersystem seinen Zweck erfüllen kann (die Durchsagen verstanden werden), müssen folgende Voraussetzungen vorliegen: Horn-Lautsprecher für high sound levels, 2-3 Lautsprecher an einer Stelle für gute Richtungswirkung, Verstärker ohne Verzerrung bei high sound levels, Hauptsignale entgegen der Fahrtrichtung senden (in Tunneln ohne Gegenverkehr), Lautsprecher über der Fahrbahn statt an Tunnelwand installieren, Schalldämpfung der Ventilatoren (Huijben 1999). Nach TNO-Untersuchungen können Lüftungssystem und Lautsprechersystem mithilfe von Computersimulationen so aufeinander abgestimmt werden, dass eine gute Hörbarkeit erreicht werden kann (PIARC 2008a).

Technisch besteht die Möglichkeit, im Ereignisfall nur Lautsprecher eines Abschnitts zu aktivieren und so individualisiert unterschiedliche Handlungsanweisungen für Nutzer in unmittelbarer Nähe des Brandherds und solche in weiterer Entfernung auszusenden (PIARC 2008a). Einschränkend weisen die Autoren des PIARC-Berichts darauf hin, dass laute Durchsagen die Tunnelnutzer auch erschrecken könnten (ebda.). Sowohl PIARC als auch Martens et al. kommen zu dem Schluss, dass Lautsprechersysteme für den Einsatz im Tunnel empfehlenswert sind, da Durchsagen die Wahrscheinlichkeit stark erhöhen, dass Tunnelnutzer ihr Fahrzeug verlassen (PIARC 2008a; Martens et al. 2005).

IVIS

Eine Alternative stellen sogenannte In-Vehicle-Technologien dar wie IVIS, die mit dem Tunnelsystem kommunizieren und Nachrichten des Betreibers an die Insassen im Auto übertragen können (PIARC 2008a; Vashitz et al. 2007). Gemäss Vashitz et al. könnten mit einem solchen Informationssystem Informationen zum "richtigem Verhalten" gezielter verbreitet werden und zu einem höheren Bewusstsein in Gefahrensituationen führen. Die beidseitige Kommunikation über das System mit der Verkehrsleitzentrale bietet die Möglichkeit von Echtzeit-Informationen (visuell über Bildschirm und auditiv über Lautsprecher) und stellt daher eine Chance dar die PEAT-Zeit (Zeit bis Handlung ausgelöst wird) zu verringern. Diese technische Massnahme wurde in einem Experiment auf Informationsgehalt und Ablenkungsgrad getestet. Das Ergebnis zeigt, dass die Nutzer die Variante

mit dem höheren Informationsgehalt bevorzugen, wenngleich diese zu einer höheren Ablenkung der Fahrer führt. Der Zugewinn an Sicherheit ist jedoch höher als der Grad der Ablenkung durch das IVIS-System (Vashitz et al. 2007). Alle heute am Markt zugelassenen Fahrzeugtypen könnten mit IVIS-Systemen ausgerüstet werden, die gefährliche mechanische Gefahren sowie Gefahren aus der Umgebung (vgl. Kollisionswarnsysteme) beobachten. Heute sind einzelne Aspekte eines solchen Systems im Fréjus-Tunnel installiert. Dieser soll gemäss Vashitz et al. als Prototyp für andere Tunnel dienen (Vashitz et al. 2007).

Warnsignal

Widersprüchlich diskutiert wird in der Literatur die Idee eines akustischen Warnsignals. So beispielsweise im Schlussbericht des ACTEURS-Projektes (Noizet 2004). Noizet empfiehlt, ein Tunnel eigenes Warnsignal zu kreieren und zusammen mit einer Informationskampagne zu lancieren, um eine Verknüpfung zwischen Signal und Notfallsituation herzustellen. Dies sollte grenzüberschreitend umgesetzt werden. Egger setzt hier bei der Entwicklung eines "Driver information systems in case of fire" an. Es sollten international harmonisierte Standards eingeführt werden für Warnsignale im Tunnel (Sirene, Blitzlichter, etc.) im Brandfall. Diese sollten international in Tunneln installiert werden und die Fahrer informieren (Egger 2005). Shields empfiehlt dagegen sogenannte „Voice alarm systems“, die den Tunnelnutzern so viel Information zur Situation wie möglich liefern und Anweisungen in Echtzeit geben (Shields 2005). PIARC diskutiert den Einsatz des gleichen akustischen Feueralarmsignals, das auch bei Bränden in öffentlichen Gebäuden erklingt (PIARC 2008a). Dagegen argumentieren Martens et al., dass Alarmierungen, die Informationen liefern, ein weitaus grösseres Potenzial haben, die benötigte Zeit bis zur Reaktion der Nutzer zu verkürzen (Martens et al. 2005).

Unabhängig von den Komponenten eines Informationssystems im Tunnel ist es wichtig, dass dieses im Alltag genutzt und überprüft wird, ob die Tunnelnutzer die Botschaften wahrnehmen und verstehen können (Martens et al. 2005).

Visuelle Information

Um die Wahrnehmung von drohender Gefahr im Ereignisfall zu verbessern, empfiehlt Persson klare, leicht erkennbare Warnsignale, die insbesondere Personen, die sich in weiterer Entfernung zum Ereignis befinden, frühzeitig vor Rauchgefahr warnen (Persson 2002). Wie diese gestaltet sein müssten, bleibt indes offen. Hier setzen verschiedene Autoren auf Multifunktionstafeln (Variable Message Signs VMS). Martin et al. empfehlen, Piktogramme zu entwerfen, die Tunnelnutzer unabhängig von ihrer Nationalität über den Brand informieren (Martin et al 2005).

Form und Inhalt der Information

Die aktive Information und Führung der Nutzer durch öffentliche Autoritäten wie Betreiber, Polizei oder Feuerwehr scheint einen positiven Einfluss auf das Nutzerverhalten zu haben. So zeigen Experimente von TNO deutlich, dass die Evakuierung erst nach der Ansage des Betreibers beginnt. Dies traf im Experiment auf 82 Prozent der Teilnehmenden zu (Martens et al. 2005). Es findet keine eigenständige Evakuierung statt, selbst wenn Autos in Rauch eingehüllt werden (Boer 2002). Auffällig im TNO-Experiment ist, dass Nutzer, die sich in unmittelbarer Nähe zum Gefahrenherd befanden, als letzte reagierten. Boer vermutet, dass diese Personen sich im Wagen sicher vor dem Rauch glaubten. Der Warnhinweis "Explosionsgefahr" löste keine Reaktion bei diesen Personen aus. Erst die deutliche Handlungsanweisung "Bitte verlassen Sie den Tunnel über die Notausgänge" veranlasste die Betroffenen, den Wagen zu verlassen. Zwei Personen mussten dennoch persönlich zur Evakuierung aufgefordert werden. Sie hatten die Warnhinweise nicht gehört, weil eine CD im Wagen lief (Boer 2002). Dadurch wird deutlich, dass die Art der Botschaft eine entscheidende Rolle spielt für die Aktivierung der Nutzer.

Gemäss Papaioannou haben Menschen einen inneren Widerstand, der sie davon abhält vom gewöhnlichen Verhaltensschema abzuweichen. Sie weigern sich anzuerkennen, dass sie sich in einer Krisensituation oder Katastrophe befinden. Informationen, die auf eine Krise hinweisen, werden zunächst ignoriert (Papaioannou 2003). Die häufigste Reaktion von Menschen in einer Brandsituation sei Zweifel an der Echtheit der Situation und Unterschätzung der Gefahr (PIARC 2008a). Die Menschen können die Geschwindigkeit

der Brandentwicklung nicht einschätzen und warten anstatt sich sofort zu den Notausgängen zu bewegen (Martens et al. 2005). Martens sieht hier eine gewisse Nachlässigkeit in der Interpretation sowie im Umgang mit der Situation wie das Beispiel des Brands im Tauerntunnel zeigt: einige Nutzer verliessen ihr Fahrzeug und schauten sich um oder machten sogar Bilder vom Geschehen, brachten sich jedoch nicht in Sicherheit (ebda.). Im Mont Blanc wurden die meisten Opfer in ihren Autos oder nahe ihren Autos gefunden. Im Gotthard wurden fünf Personen im Auto tot aufgefunden (Voeltzl, Dix 2004).

Neben der Führung der Nutzer über öffentliche Autoritäten können diese auch als Gruppen angesprochen und über eine entsprechende Kommunikation gesteuert werden. Darauf weisen Erkenntnisse zur Gruppenbildung bei Ereignisfällen hin (Drury et al. 2007). Menschenmassen handeln in Ereignisfällen nicht zufällig, sondern organisiert nach bestimmten universellen Mustern. Dies zeigen Experimente, Befragungen und Auswertungen von Ereignissen in Grossbritannien (Drury et al. 2007). Aus Sicht von Drury und Cocking sollte der Kommunikation mit der Menge im Sinne von Public Address Systems mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden als der Dimensionierung von Fluchttüren und technischem Equipment. Informierte Gruppen bewegen und evakuieren schneller als nicht informierte. Es ist wichtig Vertrauen aufzubauen und entscheidende Informationen zu liefern, da das Verhalten des Menschen im Ereignisfall kognitiv und bedeutungsvoll ist (Drury et al. 2007). Damit kann eine Fehleinschätzung bzw. Unterschätzung der drohenden Gefahr durch die Betroffenen korrigiert werden (Drury et al. 2007). Massenevakuierungen sind effizienter, je grösser der Gruppengedanke bzw. die Identität mit der Gruppe ist. Dies sollte nach Drury et al. in der Kommunikation genutzt werden, indem der "collective spirit" direkt angesprochen und kooperatives Verhalten gefördert wird (Drury et al. 2007). Wie dies konkret geschehen kann, bleibt jedoch unklar.

Noizet schliesst aus den Erkenntnissen des ACTEURS-Projekts, dass die Informationen, die der Betreiber sowie der Krisenmanager im Tunnel bereithält, eindeutig und klar sein müssen hinsichtlich:

- Natur des Ereignisses: Brand im Tunnel, Ausbreitung toxischer Gase
- Schwere des Ereignisses: Lebensgefahr
- Angemessenes Verhalten: unmittelbar Fahrzeuge verlassen und Notausgang aufsuchen
- Begründung: Weil wir nicht sicherstellen können, dass wir das Ereignis unter Kontrolle bringen können (Noizet 2004)

Ortsbezogene und kontextuelle Informationen sollten angestrebt werden. Das bedeutet, dass unterschiedliche Anweisungen für verschiedene Tunnelabschnitte, abhängig von der Entfernung vom Ereignis, gegeben werden sollten. Ebenso sollten Informationen geliefert werden, die Hilfestellung bei der Orientierung in Richtung Notausgang geben: in Richtung Eingang, in Richtung Ausgang des Tunnels (Noizet 2004). In der Praxis stellt diese Differenzierung eine technische Herausforderung dar.

Gemäss Papaioannou und Martens muss der Fokus der Kommunikation in der Alarmierungsphase darauf gelegt werden, das reguläre Verhaltensmuster und den aktuellen Gemütszustand (Mindset) zu stören und auf die Gefahr sowie Rettungsmöglichkeiten aufmerksam zu machen (Martens et al. 2005; Papaioannou 2003). Auch Boer empfiehlt klare Handlungsanweisungen, um die Passivität der Tunnelnutzer im Ereignisfall zu durchbrechen. Eine direkte Ansprache mit der Aufforderung "Bitte verlassen Sie den Tunnel" sollte gemäss Boer zu einer sofortigen Reaktion auf Seiten der Nutzer führen. Diese erste Handlungsanweisung sollte gefolgt werden von der zusätzlichen Aufforderung "Bitte warnen Sie auch die Fahrenden vor und hinter Ihnen". So sollen auch apathische Tunnelnutzer zum Evakuieren bewegt werden (Boer 2002). Problematisch bleibt indes, dass die Nutzer nicht wissen, wie sie ihr Auto zurück lassen sollen und dadurch Zeit verlieren. Hier sollten nach Boer offizielle Regelungen festgelegt und gegenüber Strassennutzern kommuniziert werden (ebda.). Ob dies ein wirksames Mittel ist, um Faktoren wie Objektgebundenheit zu durchbrechen, ist jedoch fraglich. Eine alternative Formulierung einer ersten Handlungsanweisung schlägt PIARC vor: "There is an emergency in the tunnel: leave your car and go to the nearest emergency exit" (PIARC 2007a). Martens bestätigt die These der wirksamen Handlungsanweisung: In Experimenten, in denen Be-

treiber klare Anweisungen gaben, sagten weniger Probanden aus, dass eine Reaktion nicht erforderlich sei (Martens et al. 2005). Selbst der Hinweis auf eine Explosionsgefahr führte im TNO-Experiment nicht zu Panik, sondern ermöglichte eine geordnete Evakuierung der Tunnelnutzer (Martens et al. 2005). Es stellt sich die Frage, ob diese experimentelle Beobachtung auf die Realität übertragen werden kann. Entscheidend scheint jedoch, dass die Menschen im Tunnel die nötigen Informationen erhalten, um die Situation korrekt interpretieren zu können. Die Ergebnisse der UPTUN-Untersuchungen unterstreichen die hohe Wirksamkeit früher und angemessener öffentlicher Durchsagen im Tunnel (ebda.). Anlehnend an Canter geht Martens davon aus, dass jede zusätzliche Information die Evakuierung beschleunigt: In Phase 1 (Alarmierung) wird die Situation schneller als gefährlich verstanden. In Phase 2 (Informationsbeschaffung) wird der Zeitraum bis zur Entscheidungsfindung verkürzt. In Phase 3 (Evakuierungsentschluss) wird die Evakuierung beschleunigt. In Phase 4 (Wahl des Fluchtwegs) wird die benötigte Zeit zum Verlassen des Tunnels verringert (Martens et al. 2005). Für die Wahl des richtigen Fluchtweges ist die Information der Tunnelnutzer über die Notausgänge entscheidend (Papaioannou 2003).

Generell sollten Informationen "übereinstimmend" sein und mindestens dreimal wiederholt werden. Fluchtwege und Notausgänge müssen explizit benannt werden. Die Information muss prägnant, konkret, präzise und leicht verständlich sein, um die Gefahrensituation zu übermitteln. Das Sprachniveau muss sehr einfach und der Situation angepasst sein, da die Aufnahme- und Verständnis-Fähigkeit von Menschen in emotionalen Stresssituationen herabgesetzt wird. Klare Anweisungen zum Handeln ("Tu dies") sollten in der Reihenfolge ihrer Ausführung gegeben werden. Kommunikation, die auf ein Unterlassen einer Handlung abzielt ("Tu dies nicht"), sollte aus oben genannten Gründen vermieden werden. Statistische Auswertungen haben gezeigt, dass fremdsprachige Tunnelnutzer ein höheres Risiko haben, Unfallopfer zu werden als einheimische (Rosmuller 2006). Die Informationen müssen daher in mehreren Sprachen, mindestens jedoch in der Landessprache sowie in Englisch erfolgen. Martin et al. sagen aus, die Botschaften müssten strikt, kurz und dringlich sein (Martin et al. 2005). Dies betrifft sowohl die akustische wie auch die visuelle Kommunikation (Martens et al. 2005; Papaioannou 2003; PIARC 2008a). Von grosser Bedeutung ist auch der Absender der Informationen: Führung durch Autoritäten ist unerlässlich in Notsituationen. Idealerweise wird die Führung von zwei unabhängigen, sich gegenseitig bekräftigenden Quellen übernommen, z.B. öffentliche Durchsage und ein uniformierter Angestellter im Tunnel. Daher sollte, wenn möglich, Personal mit sichtbar offiziellem Status in den Tunnel entsandt werden, schlussfolgern Martens und Papaioannou. Darüber hinaus sind Menschen mit beispielhaftem Verhalten im Tunnel erforderlich. Diese Rolle könnten Berufsfahrer übernehmen (Papaioannou 2003; Martens et al. 2005).

Aus Ereignisberichten geht hervor, dass Betreiber zum Teil verwirrende Informationen herausgeben (Martens et al. 2005). Dies wird darauf zurückgeführt, dass die zuständigen Personen in der Betriebs- oder Verkehrsleitzentrale nicht ausgebildet sind, um mit der Öffentlichkeit zu kommunizieren. Daher sprechen sie häufiger mit nervöser, zitternder Stimme, wo keine Standard-Ansagen zur Verfügung stehen (Martens et al. 2005). Vorgefertigte Standardansagen werden hier als bessere Variante der Kommunikation angesehen. Martens nennt das Beispiel des Gotthardtunnels, dessen Sicherheitssystem auch Warnhinweise in vier Sprachen enthält, die innerhalb weniger Minuten nach Ausbruch eines Feuers im Tunnel abgespielt werden (Martens et al. 2005). Vorgefertigte Standardansagen spielen daher im Zusammenhang mit der Art der Kommunikation eine grosse Rolle. Sie ersparen dem Betreiber Zeit und ermöglichen eine inhaltlich und formal optimierte Information, unabhängig von den individuellen Kommunikationsfähigkeiten des Mitarbeitenden in der Zentrale. In allen Tunneln können die gleichen Durchsagen verwendet werden (PIARC 2008a; Martens 2005; PIARC 2007A; Trijssenar, I., Houry, G. A., Molag, M. 2007).

Um die Tunnelnutzer zu beruhigen und die Arbeitsbelastung der Betreiber in der Zentrale zu minimieren, empfiehlt Boer, die Tunnelnutzer zusätzlich darüber zu informieren, dass der Alarm eingegangen ist: "Der Alarm wurde registriert. Bitte rufen Sie nicht mehr an" (Boer 2002).

Forschungslücken bestehen bei der Art der Stimme, die in vorgefertigten Durchsagen idealerweise verwendet werden sollte. Ebenso ist noch nicht abschliessend untersucht, welche Standarddurchsage am besten verstanden wird von den Tunnelnutzern (PIARC 2008a).

Die Botschaften sollten in einer höheren Lautstärke als die gewöhnliche Radiolautstärke durchgegeben werden (Martin et al. 2005).

Anforderungen:

- Möglichkeit, alle Radiofrequenzen zu überblenden (Radio-Rebroadcasting)
- Lautsprechersystem
- Anzeigetafeln

Automatische Standardansagen: mehrsprachig, konkrete Handlungsanweisung, Wiederholung häufiger als 3mal

6.5.7 Signalisation Fluchtweg

In der Evakuierungsphase sollte der Weg zum nächsten Notausgang für die Nutzer sofort erkennbar sein, dies auch bei Rauch.

Die Sicherheitseinrichtungen des Tunnels sollten bereits bei einer Normaldurchfahrt für Tunnelnutzer leicht erkennbar sein (PIARC 2008a).

Visuelle Signalisation

Eine gute Beschilderung des Fluchtweges beschleunigt die Evakuierung (Martens et al. 2005).

Bezüglich einer Verbesserung der Kennzeichnung zeigt die Befragung von Gatscha et al. 2004, dass jeweils nur ein Viertel der befragten Nutzer im Rahmen eines Tunnelexperiments die Hinweisschilder zu Notrufsäule, Notausgang und Notruftelefon als wichtige Verkehrsschilder nannten (Gatscha et al. 2004). Ein Verkehrszeichen zur Ankündigung einer Ampel, ca. 2km vor Tunneleinfahrt mit gelbem Blinklicht und Zusatztafel "Bei Rot anhalten" wurde nicht erwähnt bei der Befragung, löste während der vorangegangenen Versuchsfahrt jedoch Reaktionen (Geschwindigkeitsverminderung) aus (ebda.). Dies lässt vermuten, dass Signalisation und Sicherheitsausstattung bei einer Normaldurchfahrt von Tunnelnutzern nicht bewusst wahrgenommen werden.

Im Allgemeinen wird die Notausgangsignalisation auf der Fahrbahnseite der Notausgänge angebracht. Gemäss Boer sollten auf der gegenüberliegenden Seite Hinweisschilder angebracht werden, dass sich der Notausgang auf der anderen Strassenseite befindet, damit auch Nutzer auf der "falschen" Fahrbahnseite bei schlechter Sicht den Ausgang finden können (Boer 2002). Dies wird von PIARC gestützt (PIARC 2008a). Darüber hinaus sollten die Schilder im Abstand von 25m angebracht werden (ebda.). Notausgangsschilder sollten die Entfernung zum nächsten Notausgang angeben und zwingend auch bei Rauch sichtbar sein. Bei Rauch nimmt die Sichtbarkeit im Tunnel rapide ab. Papaioannou sieht daher die Notwendigkeit, die Fluchtwegsignalisation am Boden anzubringen (Papaioannou 2003). Zusätzlich sollten Fluchtweg mit starken Blinklichtern auf dem Boden oder der Fahrbahn ausgewiesen werden (ebda.). Die Autoren des ACTEURS-Projekts kommen zu dem Schluss, dass Lichtmarkierungen entlang der Notausgänge verwendet werden sollten, um bei Rauch eine Verringerung der Beleuchtung auszugleichen (Noizet 2004). Hinweisschilder zu Notausgängen sollten keine negative Konnotation haben, damit bestimmte Ausgänge nicht als Fluchtmöglichkeiten gemieden werden (ebda.).

Gemäss PIARC sollten die Notausgangsschilder permanent hinterleuchtet sein (PIARC 2008a). In einem Ereignisfall sei es hingegen die beste Lösung, lediglich beleuchtete Pfeile in die richtige Fluchtrichtung anzuzeigen (ebda.). Die Autoren des PIARC-Berichtes weisen darauf hin, dass die in der EU-Direktive vorgesehenen Notausgangsschilder sowie

die dort vorgesehene Beleuchtung im dichten Rauch nicht ausreichend sichtbar sind (ebda.). Eine zusätzliche Führung über einen Ariadnefaden wie im Mont Blanc- und im Fréjus-Tunnel wird als mögliche Lösung gesehen (ebda.).

Martens et al. beziehen sich auf Forschungsergebnisse von BRE (Building Research Establishment), die LED-Piktogramme mit hoher Leuchtkraft (ultra-helle LED-Technologie) als bestes Mittel für eine gute Sichtbarkeit im Rauch sehen (Martens et al. 2005). Sie empfehlen eine dynamische Signalisation des Fluchtwegs, die vom Betreiber im Ereignisfall gesteuert werden kann (Martens et al. 2005).

Høj spezifiziert, die Brandnotbeleuchtung solle – sofern sie nur auf einer Seite des Tunnels vorhanden ist – auf der Seite der Notausgänge angebracht werden (Høj 2006).

Untersuchungen haben gezeigt, dass keine der heute am Markt verbreiteten Signalisationstechnologien eine höhere Sichtbarkeit als 1.5 m hatte in dichtem Rauch. Die Sichtbarkeit von hinterleuchteten Schildern sinkt auf 4 m bei der besten getesteten Technologie, während selbstleuchtende Schilder nur knapp 1 m entfernt sichtbar waren (Martens et al. 2005). Richtung angegebene Tonsignale, die den Weg zu den Notausgängen weisen, bieten sich hier als technische Lösung an (Martens et al. 2005).

Akustische Signalisation

Withington empfiehlt den Einsatz von akustischen Signalen (Sound Beacons) bei Rauch, um Nutzern Orientierung in Richtung des nächstgelegenen Notausgangs zu geben. Diese Signale müssen in ihrer Zusammensetzung Breitband sein und die Mehrheit der Frequenzen enthalten, die das menschliche Gehör wahrnehmen kann. Das ist erforderlich, damit sie einer Richtung zugeordnet werden können. Dieser Zuordnungsvorgang stellt eine hohe Herausforderung an das menschliche Gehirn dar. Ein Richtung gebender Signalton muss sich daher zusammensetzen aus Frequenzen, die es dem Menschen ermöglichen, die Richtung zu bestimmen, z.B. aufgrund der Tatsache, dass der Ton an einem Ohr zuerst eintrifft respektive als lauter wahrgenommen werden kann. Ein solches richtungsangegebendes Sound System wurde von Withington und System Sensor entwickelt und getestet: In einem abgedunkelten, mit künstlichem Rauch gefüllten Raum brauchten Probanden fast 4 Minuten, um den Ausgang zu finden. Mithilfe des akustischen Signals benötigten Probanden 15 Sekunden, um den Ausgang zu finden. Dieser Test wurde in dem komplexeren Umfeld eines Schulgebäudes über mehrere Stockwerke wiederholt (Withington 2001). Problematisch ist dabei jedoch, dass Alarmsignale jeglicher Art häufig zunächst von Nutzern ignoriert werden, nicht als solche erkannt oder nicht als "ernsthafte" Alarmsignale anerkannt werden (vgl. Sime 1995; Bryan 1995; Meacham 1999). Im Tunnel kann die akustische Führung über Sound Beacons nach den Ergebnissen von TNO-Experimenten bei schlechter Sicht eine hohe Wirkung haben. Über 85 Prozent der Probanden fanden den Notausgang bei dichtem Rauch. Es konnte beobachtet werden, dass die Gehgeschwindigkeit zunimmt mit selbsterklärenden Sound Beacons. Die Gehgeschwindigkeit verdoppelte sich von 0.44m/s auf 0.9m/s im Vergleich zum Setting mit nicht-selbsterklärenden Sound Beacons. Dies wird von Martens et al. auf ein höheres psychologisches Vertrauen, den Weg finden zu können, zurückgeführt (Martens et al. 2005; Boer 2002). Generell wurde festgestellt, dass sich die Nutzer schneller im Rauch bewegen, wenn sie wissen was sie tun (Martens et al. 2005, Boer 2002, PIARC 2008a, Martin et al. 2005). Dies weist auf einen hohen Einfluss des Faktors Information hin.

Im Experiment von TNO wurden selbsterklärende Sound Beacons verwendet, die einen Glockenton, gefolgt von der Ansage "Exit here" aussendeten. Ohne vorausgehende Instruktion folgten die Probanden diesem Signal zu den Notausgängen (Martens et al 2005). Sound Beacons ohne Sprachkomponente ("Exit here") hingegen haben ohne vorgängige Instruktion fast keine Wirkung. 84 % der Probanden fanden im Experiment keinen Ausgang. Selbst bei vorgängiger Unterrichtung fand fast ein Drittel der Probanden den Notausgang nicht (Boer 2002).

Die Geräusche der einfachen Sound Beacons wurden von den Probanden als unangenehm empfunden und konnten nicht zugeordnet werden. Dies obwohl die gleiche Technologie auf Schiffen und in Gebäuden positive Ergebnisse erzeugt hat. Boer vermutet, dass das akustisch harte Umfeld des Tunnels sowie die empfundene Bedrohung im Tunnel Ursache für die negative Wirkung der Sound Beacons ist (Boer 2002). Sound Beacons müssen nach Martens daher selbsterklärend, hörbar und lokalisierbar sein, um im Tunnel die gewünschte Wirkung zu erzeugen (Martens et al. 2005).

Selbsterklärende Sound Beacons werden von Martens et al. auch für Situationen ohne dichten Rauch empfohlen. Die dauernde Wiederholung der Sprachansage "Exit here" kann hier dazu beitragen, dass Automobilisten schneller begreifen, dass sie ihr Fahrzeug verlassen und den nächsten Notausgang aufsuchen sollen, und ihre Passivität überwinden (Martens et al. 2005). Die selbsterklärenden Sound Beacons werden somit als Möglichkeit gesehen, die Hesitationsphase zu verkürzen.

Eine der Einschränkungen bei der Nutzung von Sound Beacons ist die Sprachwahl. Im Experiment von TNO hat sich die zweisprachige Variante als die beste erwiesen. Jede weitere Sprache verlängert die Nachricht und könnte in der Praxis zu Verwirrung der Tunnelnutzer führen (Martens et al. 2005). Eine weitere Einschränkung sind die lauten Umgebungsgeräusche im Tunnel. Ventilatoren produzieren bei voller Stärke bis zu 100 Dezibel, Sound Beacons werden unter diesen Umständen nur schwer hörbar sein. Martens geht jedoch davon aus, dass Nutzer sich im Ereignisfall, insbesondere im Rauch, an den Tunnelwänden orientieren und je näher sie einem Notausgang kommen die nächsten Sound Beacons wahrnehmen können (ebda.).

Trijssenar et al. sowie PIARC empfehlen, Sound Beacons als Mittel der Signalisation im Tunnel einzusetzen (Trijssenar, I., Khoury, G. A., Molag, M. 2007; PIARC 2008a).

Werden in einem Tunnel Sound Beacons und Lautsprechersysteme nebeneinander verwendet, so müssen die Beacons vorübergehend unterdrückt werden, wenn eine Durchsage über Lautsprecher erfolgt. Dies kann automatisch über die Verlinkung mit einem intercom-button geschehen. In einem solchen kombinierten System kann der Betreiber die Nutzer über Lautsprecher instruieren, den Sound Beacons zu den Notausgängen zu folgen (Martens et al. 2005).

Haptische Signalisation

Neben der akustischen Führung wird in der Literatur zuweilen eine taktile respektive haptische Führung empfohlen. Insbesondere wird die Installation eines Handlaufs an den Tunnelwänden als wirksame Massnahme der Führung im Rauch diskutiert (Martens et al. 2005). Papaioannou schlägt darüber hinaus taktile Markierungen zu den Notausgängen vor (Papaioannou 2003).

Anforderungen:

- Signalisation: hinterleuchtet, Entfernungsangaben, dynamisch, auf beiden Fahrbahnseiten, Abstand maximal 25 m
- Piktogramm: Aufbauhöhe 2-3 cm, montiert auf Höhe 1.0-1.2m
- Selbsterklärende Sound Beacons ("Exit here")
- Haptische Führung entlang der Wand (Handlauf)

6.5.8 Signalisation Notausgang

Nutzer sollten Notausgänge bereits bei einer Normaldurchfahrt erkennen können, um mit deren Existenz vertraut zu werden. Die Autoren des ACTEURS-Projektes empfehlen, eine uniforme Innenausstattung mit geringer physischer Differenzierung der einzelnen Elemente zu vermeiden. Notausgänge sollten sich von der übrigen Ausstattung besonders abheben und als solche erkennbar gemacht werden (Noizet 2004). Im Ereignisfall muss eine erhöhte Wahrnehmbarkeit der Notausgänge sichergestellt werden (vgl. PIARC 2008 a). Dieses Bedürfnis besteht in der Evakuierungsphase.

In unabhängigen Projekten hat TNO untersucht, wie Notausgänge am besten für die allgemeine, unvorbereitete Öffentlichkeit gekennzeichnet werden können. Notausgänge sollten demnach so gestaltet sein, dass Tür und Rahmen sowie die manuelle Bedienung der Tür erkennbar sind (Martens et al. 2005). Auf der Tür sollte eine Person abgebildet sein, die in Richtung Türgriffs flüchtet. Zusätzlich sollte ein Pfeil am Boden diagonal zur Tür verlaufen (Boer 2002). Soweit möglich sollte auf technische Angaben auf der Tür verzichtet werden (ebda.). Gemäss PIARC sollten sich Notausgänge auffällig von der übrigen Tunnelgestaltung abheben, ohne jedoch Autofahrende in einer Normalsituation abzulenken (PIARC 2008 a). Im Ereignisfall sollen Blinklichter über der Tür die Wahrnehmbarkeit der Notausgänge erhöhen (ebda.). Zusätzlich sollten grüne Lichter, die im Ereignisfall blinken, die Türen umranden und so die Wahrnehmbarkeit erhöhen (ebda.). Notausgänge sollten gemäss PIARC immer grün gestrichen sein. Die Türen sollten mit grossen Notausgangsschildern (Piktogramm) gekennzeichnet werden (ebda.). Darüber hinaus sollten Notausgänge mit einem grünen Wandanstrich umrandet sein (ebda.).

Anforderungen:

- grüne, beleuchtete Tür mit Piktogramm "Person in Richtung Türgriff flüchtend"
- zusätzliche Markierung am Boden: Pfeil in Richtung Tür
- Blitzlicht über Notausgang

6.5.9 Gestaltung Notausgang

Für die Nutzer ist es wichtig, dass der Notausgang barrierefrei ist, d.h. selbst Personen mit körperlichen Beeinträchtigungen müssen den Ausgang nutzen können.

In TNO-Befragungen sagten 80 Prozent der Teilnehmenden aus, sie bevorzugten Rampen vor Treppen auf einem Fluchtweg (Martens et al. 2005).

In vielen Tunneln, die in offener Bauweise erstellt wurden, trennen nur dünne Wände die beiden Tunnelröhren. Für diesen Fall empfiehlt PIARC Türen einzusetzen mit einer horizontalen Klinke, die in beiden Richtungen geöffnet werden können oder Schiebetüren (PIARC 2008a). Generell gilt, dass Notausgangstüren mit geringer Muskelkraft und in gleicher Funktionsweise wie reguläre Türen in einem Gebäude geöffnet werden können müssen. Sollte der Einsatz von Türen mit dieser Funktionsweise nicht möglich sein, so fordert PIARC, dass die Funktionsweise klar an der Tür angegeben werden muss (ebda.).

Insbesondere in städtischen Strassentunneln sollte die Kapazität des gesamten Fluchtweges an das Verkehrsaufkommen im Tunnel und die damit verbundene Anzahl an Tunnelnutzern angepasst werden (PIARC 2008c). Im Experiment passierten 0.69 Personen pro Sekunde die rund 1 m breite Standardtür. Eine Person benötigte damit 1.44 s, um die Tür zu passieren. Für diese Türbreite hatten kommerzielle Anbieter eine Evakuierung von 1.33 Personen pro Sekunde vorausgesagt, die Building Research Foundation sogar 2.16 Personen pro Sekunde. Die Ursachen für die langsame Evakuierung sieht Boer in der Stufe vor der Tür. Diese reduziere die Fliessgeschwindigkeit der Personengruppe auf 0.67 Personen pro Sekunde. Dies entspricht in etwa der Geschwindigkeit, mit der Personen in einen Zug steigen. Boer berechnet, dass die 1 m breite Türe ausreicht bei einem Verkehrsaufkommen von einem PW mit je einer Person pro 7 m bei zwei Fahrbahnen, wenn bei einer Laufgeschwindigkeit von 1 m/s alle 3.5 Sekunden eine Person den Notausgang erreicht. Sobald die gleiche Anzahl Personen jedoch mit einer Geschwindigkeit von 1.4 m/s laufen oder mehrere Personen im Fahrzeug sitzen oder ein Bus mit 100 Personen dabei ist, reicht die Tür bei weitem nicht mehr aus. Der Notausgang würde damit zum Nadelöhr bei der Evakuierung (Boer 2002). Boer und Martens folgern daraus, dass Notausgangstüren breiter als 1 m ausgelegt werden müssen. Die effektive Breite sollte dabei für jeden Tunnel auf der Basis von Experimenten, Verkehrszählungen und Anzahl Personen pro Fahrzeug bestimmt werden (Boer 2002, Martens et al. 2005). Diese Forderung steht allerdings im Widerspruch zur Auswertung verschiedener Grossbrände. Diese zeigte, dass sich an den Notausgängen nie Gedränge oder Schlangen bildeten. Stattdessen konnte beobachtet werden, dass sich Menschen häufig gemeinsam in einer Reihe

zum Notausgang bewegten (Martens et al. 2005).

Notausgänge sollten für alle Tunnelnutzer klar als solche erkennbar sein sowohl unter regulären Bedingungen als auch im Ereignisfall (PIARC 2008a). Führt der Notausgang zu einem Rettungstunnel zwischen zwei Tunnelröhren, sollten sich die Türen zu den unter Verkehr stehenden Röhren nur in eine Richtung öffnen lassen, da sonst die Gefahr besteht, dass die Nutzer den Sicherheitsstollen verlassen und auf der anderen Seite in die befahrene Tunnelröhre treten (Boer 2002). Um Disfunktionalitäten im Ereignisfall auszuschliessen, sollten Notausgänge immer beleuchtet und unverschlossen sein (Boer 2002).

Anforderungen:

- Keine Treppe
- Breite für das Verkehrsaufkommen im Tunnel bemessen
- Tür ist leicht und in Fluchtrichtung zu öffnen
- Tür funktioniert wie eine Tür im Gebäude (Nutzergewohnheit)
- Tür ist immer unverschlossen und beleuchtet

6.5.10 Ausstattung Querschlag

In der Evakuierungsphase besteht bei den Nutzern ein Bedürfnis nach sicherer Leitung aus dem Tunnel sowie nach Informationen zur Situation im Tunnel.

In ausgeschachteten oder gebohrten Richtungstunneln werden die beiden Röhren über einen Querschlag miteinander verbunden. Der Querschlag muss in beiden Richtungen nutzbar sein. Daher werden keine statischen Pfeile empfohlen (PIARC 2008a). Der Querschlag sollte im Ereignisfall beleuchtet sein. Photoluminiszierende Markierungen oder Bolzen werden als sinnvolle Zusatzmassnahme empfohlen, falls es bei einem Ereignis zum Lichtausfall kommt (ebda.). Über ein Lautsprechersystem, das im Querschlag installiert ist, sollten Nutzer regelmässig angewiesen werden, den Tunnel zu verlassen, da der Querschlag trotz Überdruck und feuerfesten Türen nicht als dauerhafter Schutzraum ausgelegt ist. Der Querschlag soll vielmehr als Zwischenaufenthalt dienen bis der Verkehr in der zweiten Tunnelröhre gestoppt ist (ebda.). Tests haben gezeigt, dass Lautsprecherdurchsagen die Nutzer in ihrem Verhalten bestätigen. Ohne die wiederholte Information und Handlungsanweisung, den Querschlag zur nächsten Tunnelröhre hin zu verlassen, kehrten die Nutzer in die brennende Tunnelröhre zurück, um ihr Informationsbedürfnis zu befriedigen (ebda.). Die Türen, die zu den beiden Tunnelröhren führen, sollten mit einem Hinweisschild "Exit" gekennzeichnet werden. Das Schild sollte so dimensioniert werden, dass es von der anderen Seite des Querschlags gelesen werden kann. PIARC empfiehlt dazu photoluminiszierenden Text auf einem grünen Hintergrund (PIARC 2008 A). Darüber hinaus sollten Schilder darauf hinweisen, dass auf der anderen Seite der Tür Verkehr fliesst und daher Vorsicht geboten ist beim Betreten der Tunnelröhre (ebda.).

Anforderungen:

- Lautsprechersystem
- Notruftelefon
- Beschilderung "kein sicherer Ort, durch nächste Tür verlassen"
- Zwei-Röhren-Tunnel: Beschilderung Tür: beleuchtet "Exit", "Achtung Verkehr"
- Rettungsstollen: Beschilderung Tür: "Nicht in Tunnel zurückkehren"

6.5.11 Ausstattung Rettungsstollen

Auch im Rettungsstollen besteht das Nutzerbedürfnis nach sicherer Leitung aus dem Tunnel sowie nach Information weiter.

Gemäss Boer sollten Richtung angegebende Pfeile sofort sichtbar sein für evakuierende Nutzer, sobald diese den Rettungsstollen betreten. Die Signalisation sollte häufiger wer-

den, z.B. Schilder mit Pfeilen und Richtungsangaben an der Decke (Boer 2002). Um zu verhindern, dass Nutzer umkehren und in die falsche Richtung laufen, sollte die Rückseite der Schilder mit Warnungshinweisen versehen werden (ebda.). Darüber hinaus sollten klare Durchsagen über Lautsprecher im Rettungstollen den Nutzern mitteilen, dass sie den Tunnel in die angegebene Richtung verlassen sollen (ebda.). Periodisch sollte der Betreiber die Nutzer über Lautsprecherdurchsagen über die aktuelle Situation im Tunnel informieren. PIARC empfiehlt den Einsatz grüner Pfeile im Rettungstollen, um Nutzer darin zu bestätigen, dass dies der richtige Weg aus dem Tunnel ist. zusätzlich sollten alle 50 Meter Entfernungsangaben zum Ausgang angebracht werden. In die entgegengesetzte Richtung sollten Verbotsschilder angebracht werden (PIARC 2008a).

Um Nutzer auch physisch daran zu hindern, vom Rettungstollen in den Tunnel zurückzukehren, könnten Notausgangstüren lediglich einseitig von der Tunnelseite aus zu bedienen sein (Boer 2002).

Anforderungen:

- Pfeile in Fluchtrichtung, gut sichtbar, in regelmässigen Abständen, Entfernungsangabe zum Ausgang

6.5.12 Ausstattung Schutzraum

Auch im Schutzraum besteht das Nutzerbedürfnis nach sicherer Leitung aus dem Tunnel sowie nach Information über die Situation im Tunnel. Darüber hinaus kommen physische Bedürfnisse wie Müdigkeit, Hunger, Durst, Harndrang zum Tragen.

Voeltzl und Dix spezifizieren, dass ein Schutzraum mit einem anderen Fluchtweg verbunden sein muss als dem Tunnel selbst (Voeltzl, Dix 2004). Für Fälle, in denen dies nicht gegeben ist, weist PIARC darauf hin, dass die Kommunikation mit den Nutzern im Schutzraum erforderlich ist. Mithilfe eines Kommunikationssystems sollten Nutzer mit dem Betreiber kommunizieren können. Darüber hinaus sollten Schilder deutlich machen, dass die Nutzer im Schutzraum sicher sind und dass sie nicht in den Tunnel zurückkehren sollen (PIARC 2008a).

Anforderungen:

- Lautsprechersystem
- Notruftelefon
- Beschilderung "sicherer Ort, auf Rettungskräfte warten"
- Trinkwasser, Decken, Sitzgelegenheit

6.5.13 Funkausstattung Einsatzkräfte und Betreiber

Im Einsatz sind Rettungskräfte und Betreiber auf Systeme angewiesen, die eine Absprache und Koordination in Echtzeit ermöglichen. Dieses sollte sowohl im wie ausserhalb des Tunnels funktionieren.

Der Abbruch von Radioverbindungen konnte bei verschiedenen Ereignissen beobachtet werden. Für einen erfolgreichen Einsatz im Ereignisfall sind zuverlässige und hitzebeständige Kommunikationssysteme wesentlich (Martens et al. 2005). Für eine verlässliche Kommunikation empfiehlt Fargione, "Leaky Feeders" als technischen Standard in Tunneln einzurichten. Dieses System stelle die Kommunikation über kurze und lange Distanzen in Tunneln sicher. Darüber hinaus müsse ein spezieller Radiokanal für die Kommunikation im Tunnel zur Verfügung stehen (Fargione et al 2006). Als alternatives System eigne sich Terrestrial Trunked Radio zwar für eine gute Kommunikation über lange Distanzen. Es sei jedoch noch zu früh, um diese Technik als Standard zu etablieren (ebda.). Wünschenswert wären nach Rhodes Systeme, die die Kommunikation von Betreibern, Feuerwehr, Polizei und Sanität unter einem gemeinsamen Kommunikationsschirm ermöglichen (Rhodes 2006).

Anforderung:

- System, welches die Kommunikation zwischen Einsatzkräften und Betreiber im und ausserhalb des Tunnels ermöglicht.

6.5.14 Notfallplan (Betreiber)

Betreiber und Einsatzkräfte sind auf eine reibungslose Zusammenarbeit aller Beteiligten während eines Einsatzes angewiesen. Dies sollte daher vorab in einem Notfallplan geregelt werden.

Um menschliche Fehler möglichst auszuschliessen und dem Operator mehr Handlungssicherheit zu geben, sollten nach Gillard Schemata für verschiedene Situationen entwickelt werden (Gillard 1998). Das Festlegen von Vorgehensweisen und Abläufen stellt eine Vereinfachung der kognitiven Prozesse und eine Arbeitsentlastung des Betreibers im Eventualfall dar. Es muss festgelegt werden, für welche Aufgaben welches Vorgehen sinnvoll ist. Dabei sollten alle relevanten Parteien einbezogen werden. Der Zugang aller relevanten Akteure zum Vorgehensbeschrieb muss sichergestellt werden.

Zeitkritische Vorgehensweisen müssen allen Akteuren bekannt und schnell zugänglich sein (kurze Instruktionkarte an Betreiber-Arbeitsplatz). Darüber hinaus müssen die Abläufe in regelmässigen Übungen geschult und überprüft werden (Papaioannou 2003, Martens et al. 2005; Fargione et al. 2006).

Das Erstellen eines Notfall- respektive Einsatzplans wird in der Literatur breit empfohlen und ist in vielen Ländern bereits etabliert. Einsatz- und Notfallpläne fokussieren nach Fargione auf fünf Aufgaben: Einschätzung, Vermeidung, Bereitschaft, Reaktion und Wiederherstellung (Fargione et al. 2006).

Ein solcher Plan sollte für alle Beteiligten entsprechende Vorgaben enthalten zu Organisation, Kommunikation, Übergabeprozessen, Einsatz von Rettungskräften sowie Nutzung des Tunnels, seiner Sicherheitsausstattung, sicheren Zugangs- und Fluchtwegen, internem und externem Monitoring, Ein- und Ausgangskontrolle im Ereignisfall, Kommunikations- und Warneinrichtungen, allgemeinen Reaktionsschemata, Verkehrsüberwachung, Ereignisverfolgung, Entscheidungs- und Handlungskriterien in Ereignisfällen, Vorkehrungen für öffentliche und Medienbekanntmachungen (PIARC 2007A; Papaioannou 2003; Rhodes 2006; Fargione et al. 2006). Es sollten Massnahmen definiert werden, wie Verzögerungen in der Mobilisierung der Einsatzkräfte verringert werden können (PIARC 2008b). Alarme müssen priorisiert werden in den Betriebshandbüchern, um eine schnelle Reaktion zu ermöglichen (ebda.).

Bezüglich des Verkehrsmanagements sollen Tunnelbetreiber gemäss PIARC im Ereignisfall bei Richtungstunneln die Sperrung der zweiten Tunnelröhre so schnell wie möglich einleiten (PIARC 2008b). Die Sicherheit sollte oberste Priorität haben vor dem Verkehrsfluss und dem Verkehrsmanagement, d.h. dass der Tunnel gesperrt werden sollte, sobald ein grösserer Unfall vermutet wird (PIARC (2008c).

Es müssen Vorgaben für die Überarbeitung der Vorgehensvorgaben und Einsatzpläne festgelegt werden (PIARC 2008c). Zografos schlägt zu diesem Punkt ein integriertes Sicherheitsmanagementkonzept vor, das über den gesamten Lebenszyklus des Tunnels, der technische Ausstattung, menschliche Faktoren, Kompetenzen und Abläufe sowie regelmässige Übungseinsätze der Einsatzkräfte und regelmässige Re-Evaluation der definierten Prozesse für den Ereignisfall vorsieht (Zografos et al. 2006). Auch Burns empfiehlt, dass Einsatzpläne an verschiedenen Szenarien sowie in Einsatzübungen mit Rettungskräften geprüft werden sollen (Burns 2005).

Vardy et al. sehen nicht nur Vorteile in der Festschreibung von Abläufen und Entscheidungen in Einsatzplänen: Um menschlichen Irrtum soweit möglich ausschliessen zu können, müssen Einsatzpläne Gültigkeit haben für eine Vielzahl möglicher Szenarien. Die im Einsatzplan festgeschriebenen Abläufe müssen sehr einfach gehalten sein, damit sie unter Stress befolgt werden können. Problematisch ist dabei, dass nicht jede Situation ab-

gedeckt werden kann. Dies führt im Ereignisfall unter Umständen zu einem Dilemma zwischen "festgeschriebene Vorgabe erfüllen" oder "auf die individuelle Situation angepasste freie Entscheidung treffen" mit dem Risiko einer menschlichen Fehlentscheidung (Vardy et al. 1998).

Anforderungen:

- Definiert Kompetenzen und Prozesse bei Ereignissen
- Vereinfacht Abläufe, reduziert Aufgaben
- Regelt, dass zeitkritische Prozesse mit einem Griff verfügbar sind
- Abstimmung der Notfallpläne von Einsatzkräften und Betreibern
- Alle Beteiligten kennen die Notfallpläne
- Definiert regelmässige Übungen und Revisionen

6.5.15 Einsatzplan (Einsatzkräfte)

Korrespondierend zum Notfallplan der Betreiber regelt der Einsatzplan Abläufe und Prozesse der Einsatzkräfte.

Für die Rettungskräfte gilt das Gleiche wie für die Betreiber. Es ist wesentlich für eine erfolgreiche Zusammenarbeit, dass alle involvierten Kräfte an der Ausarbeitung des Einsatzplanes beteiligt werden und gemeinsame Schulungen und Übungen durchführen (Papaioannou 2003; PIARC 2008b; Rhodes 2006; Fargione et al. 2006). Notfallübungen und Ereignisse sollten nachgängig analysiert und ausgewertet werden, um den Lernprozess zu fördern (PIARC 2008b). Einsatzkräfte sollten an Ort und Stelle eine Ereignis-Evaluation vornehmen, bevor sie den Tunnel betreten (ebda.). Die Ausbildung sollte den Einsatzkräften über Handlungsabfolgen hinaus auch Kenntnis der Gegebenheiten eines Tunnels und seiner Sicherheitseinrichtungen vermitteln (Rhodes 2006). Rosmuller und Rhodes fordern, dass die Feuerwehr in der Lage sein muss, das Lüftungssystem zu steuern, um so nah wie möglich zum Brandherd vordringen zu können. Dazu muss den Einsatzkräften die Funktionsweise des Lüftungssystems und seiner Möglichkeiten und Grenzen bekannt sein (Rhodes 2006; Rosmuller 2005). Feuerwehrleute sollten Feuerbekämpfung im Tunnel speziell trainieren, da sich diese von der Situation in Gebäuden unterscheidet (Voeltzl, Dix 2004; Fargione et al. 2006). Speziell sollten Feuerwehrleute ihr Wissen verbessern über ihre Möglichkeiten und Grenzen im Umgang mit ausdauernden, langen Einsätzen mit Atmungsgeräten in Tunneln (Bergquist et al. 2005).

Generell sollte in Einsatzplänen spezifiziert werden, wie häufig Schulung und Ausstattung der Einsatzkräfte erfolgen soll (Trijssenar, I., Khoury, G. A., Molag, M. 2007). Darüber hinaus sollten die Pläne auch die Lage der Hydranten enthalten sowie eine Beschreibung, wie eine ausreichende Wasserversorgung zur Brandbekämpfung im Tunnel hergestellt werden kann (PIARC 2008b).

Fargione schlägt vor, ein Europäisches Modell eines Reaktionsplans für Katastrophen in Strassentunneln zu erarbeiten (Fargione et al. 2006).

Anforderungen:

- Regelt Einsatz Polizei, Feuerwehr, Sanitär
- Definiert Abläufe und Zuständigkeiten, Einsatz, Abbruch
- Abgestimmt auf Notfallplan Betreiber
- Enthält Tunnelgrundriss und –ausstattung

6.5.16 Qualitätssicherung

Für eine effiziente Steuerung aller Massnahmen sowie einen erfolgreichen Einsatz sollten sicherheitsrelevante Dokumente, Prozesse und Einrichtungen regelmässig evaluiert werden.

Anforderung:

- sicherheitsrelevante Dokumente, Prozesse und Einrichtungen regelmässig evaluieren

6.5.17 Kooperation zwischen Betreiber und Einsatzkräften

Für eine effiziente Steuerung aller Massnahmen sowie einen erfolgreichen Einsatz ist eine gute Koordination aller beteiligten Akteure wesentlich.

Die koordinierte Zusammenarbeit zwischen Betreibern und Einsatzkräften wird in verschiedenen Berichten als Flaschenhals im Ereignismanagement und –ablauf bezeichnet (vgl. PIARC 2007a; Papaioannou 2003). Bereits bei der Planung des Tunnels sowie bei der Erstellung der Einsatzpläne sollten Polizei, Feuerwehr und Sanität einbezogen werden (PIARC 2007a und 2008b).

Geschwindigkeit der Alarmierung und Information ist ein entscheidender Faktor in der Zusammenarbeit zwischen Betreibern und Rettungskräften. Erforderliche Erstinformationen sind die Art und Lage des Feuers, das Vorliegen von Gefahrgut, die Anzahl Menschen im Tunnel, die Lüftungsstrategie, Vorschläge für Zugangswege sowie die Ausbreitung von Rauch (PIARC 2008b; Voeltzl, Dix 2004; Rosmuller 2005). Das Erfordernis einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit zwischen Betreibern und Einsatzkräften zu etablieren wird von verschiedenen Autoren betont. Unter anderem wird hier von PIARC die Organisation und Durchführung regelmässiger gemeinsamer Übungen empfohlen, wie dies an anderer Stelle in diesem Bericht bereits ausführlicher erwähnt wurde (PIARC 2008b; Trijssenar, I., Khoury, G. A., Molag, M. 2007). Die Kompetenzen und Verantwortlichkeiten der verschiedenen Akteure im Rahmen eines Einsatzes müssen präzise definiert werden. Dies sollte im Einsatzplan festgeschrieben werden (PIARC 2007a).

Insbesondere in Länder übergreifenden Tunneln sollten gemäss Rosmuller gemeinsame Übungen mit allen Beteiligten aus beiden Ländern durchgeführt werden. Die Radiofrequenzen und Kommunikationskanäle sollten standardisiert werden. Alle Informationen sollten in den Sprachen der beiden Länder sowie in Englisch bereitgestellt werden. Die Informationen für Tunnelnutzer sollten vereinheitlicht werden. Die Zuständigkeit im Ereignisfall sollte bei einem Kontrollzentrum liegen. Es sollte eine Sprache festgelegt werden, in der die Akteure beider Länder miteinander kommunizieren. Die Organisationsstrukturen der Ereignisdienste sollten aufeinander abgestimmt und die gleichen Interventions-szenarios verwendet werden. Die Ausrüstung der Einsatzkräfte sollte in beiden Ländern verwendet werden können. In beiden Ländern sollte eine Notaufnahmestelle eingerichtet werden unter der Kontrolle einer Organisation. Beide Länder sollten in die Ermittlungen zu einem Ereignis einbezogen werden (Rosmuller 2006).

Der regelmässige Austausch mit den Ereignisdiensten ist wichtig, um Ereignisbewältigungsverfahren zu koordinieren und zu fördern. Gleichzeitig ist die Etablierung einer Organisationskultur, die Lernprozesse unterstützt – z.B. durch eine Analyse der Ereignisbewältigung ex post, erforderlich (Martens et al. 2005; PIARC 2008b). Dies kann über gemeinsame Übungseinsätze im Tunnel gefördert werden.

Für eine gelungene Zusammenarbeit zwischen Betreibern und Einsatzorganisationen ist es wichtig, dass alle relevanten Personen die Grenzen der eigenen Kompetenzen und Pflichten sowie diejenigen der anderen Organisationen kennen (PIARC 2008b). Dies kommt unter anderem in der Kooperation mit Einsatzkräften zum Tragen, um gegebenenfalls das Lüftungssystem anzupassen entsprechend den Bedingungen im Brandfall (ebda.). In diesem Zusammenhang wird die Notwendigkeit erwähnt, die Planung von Rettungseinsätzen allen Einsatzkräften vorab bekannt zu machen (PIARC 2008b). Dazu ist erforderlich, dass der Betreiber weiss, wie die Einsatzkräfte zusammenarbeiten und im

Ereignisfall intervenieren. Der Betreiber sollte darüber hinaus die lokalen und regionalen Such- und Rettungssysteme kennen (PIARC 2008c). Gleichzeitig muss der Betreiber in der Lage sein, die Situation schnell zu erkennen und die Tunnelnutzer zu führen bis die Rettungskräfte eintreffen (Papaioannou 2003; Martens et al. 2005).

In Tunneln mit mehreren Zentralen ist es wichtig, dass jeweils nur ein Kontrollzentrum zuständig ist (Voeltzl, Dix 2004; Rosmuller 2006; Rhodes 2006). Rosmuller empfiehlt jeweils ein Betreiberunternehmen zu beauftragen, sodass die gleiche Betriebs- und Investitionspolitik für den gesamten Tunnel gilt (Rosmuller 2006). Für die EU empfiehlt PIARC, dass die Tunnel Manager des Trans European Road Network sogenannte Safety Officers (Sicherheitsbeauftragte) ernennen, die alle präventiven und Sicherheitsmassnahmen koordinieren, um die Sicherheit von Nutzern und Tunnelpersonal sicherzustellen (PIARC 2007a; Rhodes 2006).

Anforderungen:

- Einbezug Einsatzkräfte in Planung Tunnelausstattung
- Gemeinsame Übungen
- Standardisierte Information für Zusammenarbeit
- Kompetenzregel Führung (speziell grenzüberschreitend)

6.5.18 Training / Routine

Für einen erfolgreichen Einsatz und die Gewährleistung der Sicherheit ist Training und eine gute Routine wichtig.

Rhodes folgert aus den Untersuchungen von FIT (Fire in Tunnels Thematic Network), dass ein Qualifikationssystem für Betreiber respektive Mitarbeitende der Verkehrsleitzentrale eingerichtet werden sollte, um sicherzustellen dass diese in der Lage sind, Krisensituationen angemessen zu handhaben. Dazu ist die Erarbeitung einer Ausbildungs- und Übungsstrategie erforderlich, die Häufigkeit und Inhalt des theoretischen und praktischen Wissens festlegt (Rhodes 2006).

Gemäss PIARC sollten Ereignismanagement-Verfahren sowohl in die Basisausbildung als auch in die laufende Weiterbildung integriert werden. Der Tunnelgrundriss sowie Ort und Bedienung aller Sicherheitsmassnahmen inklusive Kommunikationseinrichtungen sollten in Basisübungen integriert werden. Das Basistraining sollte die Punkte Verkehrsmanagement in unterschiedlichen Ereignissituationen, Kommunikation über Radio, wirkungsvolle Kommunikation mit anderen Organisationen, Vorgehensrichtlinien, Eigenverantwortlichkeiten, Kompetenzen und Rolle im Ereignismanagementprozess sowie Mittel und Möglichkeiten der Intervention vom Kontrollraum aus beinhalten (PIARC 2007a). Ebenso sollten persönliche Kommunikationsfähigkeiten trainiert werden (Papaioannou 2003, Martens et al. 2005). Noizet schlägt darüber hinaus eine Weiterbildung der Betreiber bezüglich des tatsächlichen Nutzerverhaltens und dessen Hintergründe vor, damit diese Tunnelnutzer im Ereignisfall besser informieren können (Noizet 2004).

Die Einsatzbereitschaft (emergency preparedness) der Betreiber sollte regelmässig getestet und neu geschult werden (Papaioannou 2003). Betreiber sollten sich z.B. regelmässig während Unterhaltsarbeiten sich im Tunnel aufhalten, um mit diesem vertraut zu bleiben. Kontinuierliches Training kann im Berufsalltag des Betreibers integriert werden, indem in regelmässigen Intervallen Betriebstests an verschiedenen Anlagen durchgeführt werden (PIARC 2007a; Voeltzl, Dix 2004). Diese Überprüfung von Technik und Gesamtprozess dient auch der Qualitätssicherung und wird von Rhodes als jährlich erforderlich angesehen (Rhodes 2006).

Die Betreiber sollten periodisch testen, ob Trainingsprogramme tatsächlich durchgeführt werden (Papaioannou 2003, Martens et al. 2005). PIARC sieht die Notwendigkeit, dass jeder Betreiber das Trainingsprogramm auf die Gegebenheiten eines spezifischen Tunnels anpasst und definiert, wie diese Programme evaluiert werden können (PIARC 2007A). Um die Koordination und Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Organi-

sationen und Personen zu fördern, sollen Betreiber und Einsatzkräfte regelmässig an gemeinsamen Übungen zu Tunneleinsätzen teilnehmen (PIARC 2008b). Gleichzeitig dienen Übungen und Weiterbildungsprogramme auch der Mitarbeitermotivation (PIARC 2007a). Übungen, bei denen Personal und Abläufe getestet werden, sollten detailliert protokolliert und nachbesprochen werden. Ein- bis zweimal jährlich sollten Besprechungen für einen Erfahrungsaustausch zwischen verschiedenen Mitarbeiterkategorien organisiert werden. Praktische Übungseinsätze mit Polizei, Feuerwehr und Sanität sollten einmal pro Jahr mit theoretischen Übungsaufgaben ergänzt werden (PIARC 2007a; Voeltzl, Dix 2004).

Darüber hinaus empfehlen verschiedene Autoren Übungen am Simulator, z.B. mit dem SCADA-Simulator (Supervisory Control and DATA Acquisition System) sowohl für Basis-schulungen als auch für Weiterbildung (PIARC 2007A; Trijssenar, I., Khoury, G. A., Molag, M. 2007; Rhodes 2006).

Erfahrungen aus Australien, Grossbritannien, Europa und Japan bestätigen, dass gemeinsame Übungen und gemeinsame Ausbildung von Betreibern und Einsatzkräften sowie eine gemeinsame Ausarbeitung formeller Abläufe (Einsatzplan/Sicherheitsplan) das beste Rezept sind für erfolgreiche Einsätze im Ereignisfall (Bryant 2002, Gillard 1998, Yoshimori et al. 1998, Haack 2002). Die gemeinsamen Übungen dienen gleichzeitig als Tests für die technische Sicherheitsausstattung, denn über längere Zeit nicht bewegte Mechanik verursacht Probleme, z.B. Anlaufschwierigkeiten im Ereignisfall oder fehlerhafte Regelelektronik (Waltl 2008).

Anforderungen:

- Regelmässige gemeinsame Übungen
- Spezialschulung Brandbekämpfung im Tunnel
- Funktionstests technische Sicherheitsausstattung

6.5.19 HR Anforderungsprofil / Fähigkeiten (Betreiber)

Um im Ereignisfall menschlichen Irrtum so weit wie möglich vermeiden zu können, müssen Mitarbeitende in der Zentrale einem bestimmten Anforderungsprofil entsprechen.

Um entsprechendes Personal rekrutieren zu können, muss ein Personalprofil definiert werden. Dieses sollte konkrete Anforderungen und Kompetenzen, die Fähigkeit zur Stressbewältigung, Zuverlässigkeit unter Zeitdruck, Kommunikationsfähigkeit und Sprachkenntnisse enthalten. Der Betreiber sollte mit Tunnelnutzern so kommunizieren können, dass diese seine Autorität anerkennen und sich der Notsituation und der Notwendigkeit zur Evakuierung bewusst werden, ohne dabei Panikgefühle auszulösen. Ebenso sollte der Betreiber die eigene Leistung einschätzen können. Betreiber müssen in der Lage sein, die Konsequenzen ihrer Entscheidungen abzusehen. Sie sollten eine kundenfreundliche Haltung haben, die eigenen Kompetenzen und die anderer Personen respektieren sowie eine positive Einstellung zur Leistungssteigerung haben (Martens et al. 2005; PIARC 2007a). Primäre Aufgabe des Betreibers ist es, ein Ereignis so früh wie möglich zu erfassen, zu beurteilen und darauf zu reagieren. Ein Betreiber muss daher in der Lage sein, trotz längerer Zeiträume mit geringem Aktivitätsniveau im Ereignisfall unmittelbar und angemessen zu reagieren. Darüber hinaus sollte ein Betreiber technisches Wissen zu den Überwachungsinstrumenten mitbringen (PIARC 2007a).

Anforderungen:

- Klar definierte Anforderungen und Kompetenzen
- Stressbewältigung
- Zuverlässigkeit unter Zeitdruck
- Kommunikationsfähigkeit und Sprachkenntnisse

6.5.20 Personalausstattung / Workload

Um im Ereignisfall menschlichen Irrtum so weit wie möglich vermeiden zu können, müssen genügend Personen in der Zentrale anwesend sein.

Entscheidend für die Belastung und Aufmerksamkeit des Betreibers in der Ereignissituation ist der Personalschlüssel: Es müssen immer ausreichend Betreiber zur gleichen Zeit im Dienst sein. Wie viele Personen erforderlich sind, ist abhängig von Inhalt und Anzahl der Aufgaben eines Betreibers (Verkehrsmanagement oder Verkehrs- und Betriebsmanagement), den Eigenschaften des Tunnels (Länge, Richtungs- oder Gegenverkehr), Verkehrsdichte, Art des Kontrollzentrums (vor Ort, entfernt), der Anzahl zu überwachender Tunnel, Umfang und Komplexität der zu betreuenden technischen Ausstattung des Tunnels und allenfalls Unterstützung durch ein SCADA-System (Martens et al. 2005; PIARC 2007a). Für einen langen Tunnel mit hohem Ausrüstungsgrad wird eine Aufgabenteilung empfohlen zwischen einem Betreiber für den Verkehr und einem für die Technik. Dieses Team kann bis zu drei Tunnel überwachen. Im städtischen Bereich werden für mehr als drei Tunnel zwei Personen zur Verkehrsüberwachung und eine zur technischen Kontrolle empfohlen. Im ländlichen Bereich wird diese Personalbesetzung für die Überwachung von mehr als vier Tunneln als ausreichend betrachtet (PIARC 2007a)

Anforderungen:

- Kriterien Personalschlüssel
- Kapazität im Ereignisfall
- Auslastung im Normalbetrieb (Aufmerksamkeit)

6.5.21 Technische Ausstattung

Um die Sicherheit der Einsatzkräfte im Ereignisfall zu gewährleisten und die Rettung der Nutzer zu ermöglichen, muss die erforderliche technische Ausstattung in ausreichender Anzahl zur Verfügung stehen.

Immer wieder wird in der Literatur sowie in Ereignisberichten darauf verwiesen, dass die Feuerwehr nicht ausreichend ausgestattet sei. Insbesondere betrifft dies die Anzahl der zur Verfügung stehenden Atemschutzgeräte zum Einsatz im Tunnel (vgl. PIARC 2008b). Kein Feuerwehrmann sollte gemäss PIARC jedoch einen Tunnel ohne Atemschutzgerät und Druckluftreserve betreten (PIARC 2008b; Fargione et al. 2006). Rhodes weist jedoch darauf hin, dass Atemschutzgeräte im Allgemeinen eher geeignet sind für den Einsatz in einem normalen Gebäudebrand. Im Tunnelumfeld seien die Möglichkeiten dieser technischen Ausrüstung sehr begrenzt (Rhodes 2006). Zwischen den Einsatzkräften im Tunnelinneren und denjenigen im sicheren Bereich muss ein verlässliches Kommunikationssystem bestehen (Rhodes 2006).

Für spezifische Tunnel können auch fest installierte Löschsysteme wie Wassersprühanlagen, Sprinkler oder Wasservorhänge in Betracht gezogen werden (PIARC 2008b).

Nach Rhodes und Rosmuller sind weitere Untersuchungen zur Kombination verschiedener Vorgehensweisen und Hilfsmittel erforderlich, um diese bereits bei der Planung eines Tunnels einbeziehen zu können (Rhodes 2006; Rosmuller 2005).

Anforderung:

- Atemschutzgeräte für alle Feuerwehrleute

7 Analyse Normenwerk Schweiz

Bei der Analyse des Normenwerks Schweiz wurden die in der Literatur formulierten Forderungen an Tunnelausstattung und Prozesse den Anforderungen aus den technischen Normen gegenüber gestellt. Ziel war es, bautechnische Normen sowie Richtlinien und Wegweisungen bezüglich Prozessen und Organisation auf Übereinstimmung und Abweichung von den in der Literatur gestellten Anforderungen zu überprüfen. Zu diesem Zweck wurde ein sogenannter Kodierleitfaden erstellt, in dem die Forderungen aus der Literatur in technische Anforderungen übersetzt wurden (vgl. Kapitel 6.5). Der Kodierleitfaden mit den detaillierten Vorgaben der Normen und Richtlinien findet sich im Anhang dieses Berichts.

7.1 Bautechnische Normen

Betreffend Anforderungen an die Tunnelausstattung wurden die folgenden in der Schweiz geltenden Normen geprüft:

- SIA 197 Projektierung Tunnel, Grundlagen
- SIA 197/2 Projektierung Tunnel, Strassentunnel
- ASTRA (2007): Branddetektion in Strassentunneln, Richtlinie 13004, Version 2.10
- ASTRA (2009): Signalisation der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln, Richtlinie, Version 1.99b, Entwurf vom 18.3.2009.
- ASTRA (2008): Lüftung der Strassentunnel, Richtlinie, Version 2.0
- ASTRA (2007): Funksysteme in Strassentunneln, Richtlinie, Version 3.02
- ASTRA (2005), Verkehrsfernsehen, Richtlinie, Entwurf 2005.
- ASTRA (2008): Türen und Tore in Strassentunneln, Richtlinie, Version 0.99h, Entwurf vom 11.7.2008.
- ASTRA (2008): Lüftung der Sicherheitsstollen von Strassentunneln, Richtlinie, Version 1.01
- ASTRA (2008): Verkehrsmanagement in der Schweiz, Richtlinie, Version 1.0.
- ASTRA (2005), Notruftelefonanlagen, Richtlinie, Entwurf 2005.
- ASTRA (2008), Wechseltextanzeigen - Textmeldungen, Richtlinie, Version 4.00a, Entwurf vom 9.1. 2008.
- Bundesrat (2008): Schweizerische Signalisationsverordnung SSV vom 5.9. 1979, Stand 1.1. 2008.

Darüber hinaus wurde die EU-Richtlinie EU-RL 2004/54/EG als Referenz für in den Nachbarländern geltende Normen untersucht.

7.1.1 Vergleich von Normvorgaben und Anforderungen

Im Folgenden sollen die Erfüllungsgrade des Normenwerks hinsichtlich der in der Literatur beschriebenen Anforderungen kurz dargestellt werden.

Detektion

Die Anforderungen an die Detektion werden weitestgehend abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Bezug auf die Detektion nehmen die Norm SIA 197/2 sowie die ASTRA-Richtlinien "Verkehrsfernsehen", "Branddetektion", "Lüftung der Strassentunnel". Ebenso erfüllt die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG die Anforderungen aus der Literatur.

Interface Design

Weder Schweizerische Normen und Richtlinien noch die EU-Norm nehmen Bezug zu den in der Literatur formulierten Anforderungen zum Interface Design.

Sicherheit SOS-Nische

Die Anforderungen an die Sicherheit der Nutzer in der SOS-Nische werden vollumfänglich abgedeckt von den Vorgaben der Schweizerischen Normen. Bezug auf die Sicherheit in der SOS-Nische nehmen die ASTRA-Richtlinien "Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln" und "Türen und Tore" sowie SIA 179/2. Ebenso erfüllt die EU-Richtlinie EU RL- 2004/54/EG die Anforderungen aus der Literatur.

Ausstattung SOS-Nische

Die Schweizerischen Normen decken nur einen Teil der Anforderungen aus der Literatur ab, nämlich die Ausstattung mit einem Feuerlöscher. Zur Kennzeichnung des Feuerlöschers wird in den Normen jedoch das Piktogramm "Feuerlöscher ohne Flammen" vorgeschrieben, während die Literatur das Piktogramm "Feuerlöscher mit Flammen" fordert. Bezug auf die Ausstattung der SOS-Nische nehmen die Norm SIA 197/2 sowie die ASTRA-Richtlinien "Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln" und "Notrufanlagen". Ebenso erfüllt die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG nur einen Teil der Anforderungen aus der Literatur.

Sperrung Tunneleinfahrt

Die Schweizerischen Normen decken einen Teil der Anforderungen aus der Literatur ab, nämlich die Sperrung mittels Lichtsignalssystem. Physische Barrieren vor dem Tunnelportal werden nicht vorgeschrieben. Bezug auf die Sperrung der Tunneleinfahrt nehmen die Signalisationsverordnung SSV sowie die ASTRA-Richtlinien "Verkehrsmanagement" und "Wechseltextanzeigen". Ebenso erfüllt die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG nur einen Teil der Anforderungen aus der Literatur.

Information der Nutzer im Tunnel

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an die Information der Nutzer werden weitgehend nicht abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Bezug auf die Information der Nutzer nehmen die Norm SIA 197/2, die Signalisationsverordnung SSV sowie die ASTRA-Richtlinien "Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln" und "Funksysteme in Strassentunneln". Ebenso erfüllt die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG nur einen Teil der Anforderungen aus der Literatur.

Signalisation Fluchtweg

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an die Signalisation des Fluchtwegs werden für die Normalsituation zum Teil abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Für den Ereignisfall wird lediglich eine visuelle, jedoch keine hinterleuchtete Signalisation vorgeschrieben. Für die Situation Ereignisfall mit Rauch wird keine akustische Signalisation vorgeschrieben. Bezug auf die Signalisation des Fluchtwegs nehmen die Norm SIA 197/2, die Signalisationsverordnung SSV sowie die ASTRA-Richtlinie "Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln". Ebenso erfüllt die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG nur einen Teil der Anforderungen aus der Literatur.

Signalisation Notausgang

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an die Signalisation des Notausgangs werden weitgehend abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Bezug auf die Signalisation des Notausgangs nehmen die Norm SIA 197/2 sowie die ASTRA-Richtlinie "Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln". Die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG enthält keine Angaben zu einem grösseren Teil der Anforderungen aus der Literatur.

Gestaltung Notausgang

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an die Gestaltung des Notausgangs werden nur unzureichend abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Dies bezieht sich insbesondere auf die Vorgaben zur Funktionsweise der Türen. Zum Zeitpunkt der Untersuchung besteht zudem ein Widerspruch in der Aussage zweier Richtlinien bezüglich der Wahl der Türen: Während die SIA-Norm Flügeltüren als Standard vorgibt und Schiebetüren nur in begründeten Ausnahmefällen erlaubt, setzt die ASTRA-Richtlinie "Türen und Tore" auf Schiebetüren als Standard. Bezug auf die Signalisation des Fluchtwegs nehmen die Norm SIA 197/2, sowie die ASTRA-Richtlinie "Türen und Tore". Die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG macht keine Angaben zu einem Teil der Anfor-

derungen aus der Literatur.

Ausstattung Querschlag

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an die Ausstattung des Querschlags werden nur zum Teil abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Es werden keine Lautsprechersysteme zur Kommunikation mit den Nutzern vorgeschrieben. Ebenso wird kein Hinweis verlangt, dass es sich bei den Querschlägen um keinen sicheren Ort handelt. Bezug auf die Ausstattung des Querschlags nehmen die Norm SIA 197/2 sowie die ASTRA-Richtlinien "Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln", "Türen und Tore", "Verkehrsmanagement", "Notrufanlagen". Die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG enthält lediglich Angaben zu einem Teil der Anforderungen aus der Literatur.

Ausstattung Rettungsstollen

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an die Ausstattung des Rettungsstollens werden nur zum Teil abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Mängel bestehen insbesondere in der Spezifizierung der Art der Beschilderung. Bezug auf die Ausstattung des Rettungsstollens nehmen die Norm SIA 197/2 sowie die ASTRA-Richtlinie "Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln". In der EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG finden sich keine Angaben zu den Anforderungen aus der Literatur.

Ausstattung Schutzraum

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an die Ausstattung des Schutzraums werden nicht abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Schutzräume ohne Ausgang ins Freie sind in der Schweiz verboten. Die Vorgaben der Literatur sind daher nur bedingt anwendbar. Bezug auf die Ausstattung des Schutzraums nehmen die Norm SIA 197/2 sowie die ASTRA-Richtlinie "Türen und Tore". Die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG erfüllt einen Teil der Anforderungen aus der Literatur.

Funkausstattung Einsatzkräfte und Betreiber

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an die Funkausstattung für Einsatzkräfte und Betreiber werden abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Bezug auf die Funkausstattung für Einsatzkräfte und Betreiber nehmen die Norm SIA 197/2 sowie die ASTRA-Richtlinie "Funksysteme in Strassentunneln". Ebenso erfüllt die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG die Anforderungen aus der Literatur.

7.1.2 Ergebnis

Handlungsbedarf besteht im aktuellen Normenwerk gemäss den Ergebnissen des Vergleichs insbesondere bei der Information der Nutzer im Tunnel, der Signalisation des Fluchtwegs sowie bei der Gestaltung des Notausgangs. Darüber hinaus bestehen Mängel in den Vorgaben zur Information der Nutzer zu Sicherheit und Fluchtweg in Querschlägen und Rettungsstollen.

7.2 Richtlinien für Betreiber und Ereignisdienste

Betreffend Anforderungen an Prozesse und Organisation auf Seiten Betreiber und Ereignisdienste wurden die folgenden Normen und Wegleitungen geprüft:

- SIA 197 Projektierung Tunnel, Grundlagen
- SIA 197/2 Projektierung Tunnel, Strassentunnel
- ASTRA (2007): Branddetektion in Strassentunneln, Richtlinie 13004, Version 2.10
- ASTRA (2009): Signalisation der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln, Richtlinie, Version 1.99b, Entwurf vom 18.3.2009.
- ASTRA (2008): Lüftung der Strassentunnel, Richtlinie, Version 2.0
- ASTRA (2007): Funksysteme in Strassentunneln, Richtlinie, Version 3.02
- ASTRA (2005), Verkehrsfernsehen, Richtlinie, Entwurf 2005.
- ASTRA (2008): Türen und Tore in Strassentunneln, Richtlinie, Version 0.99h, Entwurf vom 11.7.2008.

- ASTRA (2008): Lüftung der Sicherheitsstollen von Strassentunneln, Richtlinie, Version 1.01
- ASTRA (2008): Verkehrsmanagement in der Schweiz, Richtlinie, Version 1.0.
- ASTRA (2005), Notruftelefonanlagen, Richtlinie, Entwurf 2005.
- ASTRA (2008), Wechseltextanzeigen - Textmeldungen, Richtlinie, Version 4.00a, Entwurf vom 9.1. 2008.
- Bundesrat (2008): Schweizerische Signalisationsverordnung SSV vom 5.9. 1979, Stand 1.1. 2008.
- FKS (2005): Technische Wegleitung für die Intervention bei Bränden in Strassentunneln
- FKS (2008): Feuerwehr 2015. Entwurf vom 17. November 2008 (Vernehmlassungsverfahren).

7.2.1 Vergleich von Normvorgaben und Anforderungen

Notfallpläne und Einsatzpläne

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an Einsatzpläne für Einsatzkräfte und Notfallpläne für Betreiber werden nur in Teilen abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen und Richtlinien sowie spezifischer Wegleitungen. Bezug auf die Einsatz- und Notfallpläne nehmen die Norm SIA 197, die ASTRA-Richtlinie "Notruftelefonanlagen", die Wegleitung FKS und das Dokument "Feuerwehr 2015". Ebenso erfüllt die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG die Anforderungen aus der Literatur nur in Teilen.

Vereinfachung von Abläufen im Ereignisfall

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an die Vereinfachung von Abläufen im Ereignisfall werden lediglich punkto Überprüfung abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Bezug auf die Vereinfachung von Abläufen im Ereignisfall nehmen die Norm SIA 197-2 sowie die Wegleitung FKS und das Dokument "Feuerwehr 2015". Ebenso erfüllt die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG die Anforderungen aus der Literatur nur in Teilen.

Training – Routine

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an Training und Routine werden weitgehend abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Bezug auf Training und Routine nehmen die ASTRA-Richtlinie "Lüftung der Strassentunneln" sowie die Wegleitung FKS und "Feuerwehr 2015". Ebenso erfüllt die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG die Anforderungen aus der Literatur weitgehend.

Organisation / Grenzüberschreitende Tunnel

In den Schweizerischen Normen finden sich keine Angaben zu den in der Literatur formulierten Anforderungen an die Organisation. Die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG erfüllt die Anforderungen aus der Literatur nur bedingt.

Rekrutierung – Anforderungsprofil

In den Schweizerischen Normen sowie in der EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG finden sich keine Angaben zu den in der Literatur formulierten Anforderungen an die Organisation.

Personalausstattung

In den Schweizerischen Normen sowie in der EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG finden sich keine Angaben zu den in der Literatur formulierten Anforderungen an die Organisation.

Kooperation mit Einsatzkräften

Die Anforderungen an die Kooperation zwischen Betreibern und Einsatzkräften entsprechen denjenigen der Punkte Einsatz- und Notfallpläne, Vereinfachung von Abläufen im Ereignisfall sowie Training und Routine.

Information Nutzer

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an die Information der Nutzer werden nur bedingt abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Insbesondere zu Inhalten, Sprache und Häufigkeit der Informationen werden keine Angaben gemacht. Bezug auf die Information der Nutzer nehmen die ASTRA-Richtlinie "Funksysteme in Strassentunneln" sowie die Wegleitung FKS. Die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG enthält keine Angaben zu den Anforderungen aus der Literatur.

Wissen um Besonderheiten der Brandbekämpfung im Tunnel

In den Schweizerischen Normen finden sich nur bedingt Angaben zum Wissen um Besonderheiten der Brandbekämpfung im Tunnel. Bezug auf spezielle Schulungen zur Brandbekämpfung im Tunnel nehmen die Wegleitung FKS und "Feuerwehr 2015". Die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG enthält keine Angaben zu den Anforderungen aus der Literatur.

Qualitätssicherung

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an die Qualitätssicherung werden weitgehend abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Bezug auf die Qualitätssicherung nehmen die ASTRA-Richtlinien "Lüftung der Strassentunnel" und "Funksysteme in Strassentunneln" sowie die Wegleitung FKS und "Feuerwehr 2015". Die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG enthält keine Angaben zu den Anforderungen aus der Literatur.

Technische Ausstattung Feuerwehr

Die in der Literatur formulierten Anforderungen an die technische Ausstattung der Feuerwehr werden bedingt abgedeckt durch die Vorgaben der Schweizerischen Normen. Bezug auf die technische Ausstattung der Feuerwehr nehmen die Wegleitung FKS und "Feuerwehr 2015". Die EU-Richtlinie EU RL-2004/54/EG enthält keine Angaben zu den Anforderungen aus der Literatur.

7.2.2 Ergebnis

Handlungsbedarf wird gemäss den Ergebnissen des Vergleichs insbesondere bei der Information der Nutzer im Tunnel vermutet. Aufgrund mangelnder Angaben zu den Anforderungen in den vorliegenden Dokumenten, sind weitergehende Aussagen nicht möglich. Allenfalls kann ein Regelungsbedarf festgestellt werden.

7.3 Verhaltensempfehlungen für Nutzer

Verhaltensregeln für Nutzer im Sinne einer rechtskräftigen Norm liegen in der Schweiz nicht vor. Im Rahmen einzelner Kommunikationsmassnahmen werden jedoch Verhaltensregeln kommuniziert. In verschiedenen Ländern und von verschiedenen Organisationen werden Faltblätter und Broschüren herausgegeben, die Nutzer über das richtige Verhalten im Tunnel informieren. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden diese Nutzerinformationen zusammengetragen und die Verhaltensempfehlungen für Nutzer verglichen. Für die Schweiz wurden fünf verschiedene Faltblätter und Broschüren miteinander verglichen (Bundesamt für Strassen ASTRA, TCS/EuroTAP, Kantonspolizei Zürich, Tiefbauamt Graubünden, Les Routiers Suisses). Für drei weitere Länder wurde jeweils eine Broschüre untersucht (Deutschland, Österreich, Grossbritannien). Das von der EU herausgegebene Informationsblatt diente als Vergleichsreferenz.

7.3.1 "Das richtige Verhalten" im Vergleich

Der Vergleich der verschiedenen Dokumente zeigt einen relativ hohen Komplexitätsgrad der Information. Generell wird in allen Informationen zwischen vier verschiedenen Situationen unterschieden: Normaldurchfahrt, Stau, Panne, Brand. Für jede dieser Situationen werden eigene Verhaltensregeln aufgestellt. Für die Situation eines Brandes wird darüber hinaus unterschieden zwischen Verhaltensweisen bei Brand am eigenen Fahrzeug und bei Brand am fremden Fahrzeug. Einige Broschüren unterschieden des Weiteren zwischen Verhaltensregeln für Berufsfahrer und Verhaltensregeln für private Verkehrsteilnehmer. Vom Leser der Informationen wird somit bereits innerhalb eines Dokuments eine

hohe Leistung erwartet in der persönlichen Einordnung "Was trifft auf mich zu?" sowie bei der Memorisierung vielfältiger Optionen betreffend Situation und richtiges Verhalten. Hinzu kommen "entweder / oder"-Empfehlungen, die vom Autofahrenden in der Ereignissituation eine Entscheidung zwischen zwei möglichen Optionen verlangen.

Werden die Verhaltensempfehlungen für diese Vielzahl an Situationen zwischen den einzelnen Informationsbroschüren miteinander verglichen, so zeigen sich widersprüchliche Empfehlungen. Als Beispiel sollen hier Empfehlungen für das "richtige Verhalten bei Brand" genannt werden:

Sollen Nutzer "am brennenden Wagen vorbei aus dem Tunnel herausfahren" oder "seitlich ranfahren und anhalten"? Wird die zweite Option gewählt, in welcher Reihenfolge soll welche Handlung dann erfolgen? Sollen Nutzer "erste Hilfe leisten, Hilfe holen, Feuer löschen" oder "Brand melden, Feuer löschen, erste Hilfe leisten" oder "Brand melden, aus Tunnel flüchten, erste Hilfe leisten".

Eine Tabelle im Anhang I.7 gibt Übersicht über die Verhaltensempfehlungen der ausgewerteten Informationsbroschüren und ihre Reihenfolge.

8 Spiegelung mit der Praxis

Um die Ergebnisse aus der Literaturstudie mit der Praxis zu spiegeln wurden Tunnel in der Schweiz auf ihre Ausstattung hin überprüft, Praxisexperten im Rahmen einer Delphi-Studie zu den Anforderungen befragt sowie ein Workshop mit Vertretern von Polizei, Feuerwehr und Betrieb durchgeführt.

8.1 Tunnelbegehungen

Um zu überprüfen, inwieweit die konkrete Ausstattung von Schweizer Tunneln, die dem heutigen Standard entsprechen, sich an den Mindestanforderungen derzeit geltender Normen orientieren oder darüber hinaus bereits die Anforderungen aus der Literatur erfüllen, wurden drei repräsentative Tunnel (Baregg, Flüelen und Islisbergtunnel) begangen. Die Begehungen fanden im Zeitraum März 2010 bis April 2010 statt, jeweils während Unterhaltsarbeiten im Tunnel und in Begleitung eines Sicherheitsbeauftragten oder eines Betreibers. Bei der Wahl der Tunnel wurde darauf geachtet, dass über alle drei Tunnel insgesamt folgende Kriterien abgedeckt werden:

- kantonsüberschreitend
- mit sehr hohem Verkehrsaufkommen (Pendelverkehr)
- mit hochmoderner Ausstattung
- durchschnittlich in Verkehrsaufkommen und Alter
- Gegenverkehr
- Richtungsverkehr

Für die Überprüfung der Tunnelausstattung wurde eine Checkliste erstellt mit den Anforderungen aus der Literatur (siehe Anhang).

Das Ergebnis der Tunnelbegehungen zeigt, dass die Ausstattung in der Regel nicht über die Normvorgaben hinausgeht. Einzelne Tunnel weisen Besonderheiten auf. So verfügt der Flüelen-Tunnel (Gegenverkehr) an beiden Portalen jeweils über eine Halbarriere auf der rechten Fahrbahn. Wechseltextanzeigen finden sich beim Baregg-Tunnel ca. 1km vor dem Portal, beim Islisberg-Tunnel vor der letzten Ausfahrt vor dem Tunnel. Bei der Fluchtwegsignalisation sind im Baregg-Tunnel an den SOS-Nischen Hinweise (Piktogramm Fluchtweg) angebracht, dass sich der Notausgang respektive der Fluchtweg auf der gegenüberliegenden Seite befindet. Eine Besonderheit bei den Notausgangstüren sind die Türen im Islisberg-Tunnel. Hier wurden Flügeltüren mit einer Druckentlastung installiert. Im Baregg-Tunnel sind Flügeltüren ohne Druckentlastung, im Flüelen-Tunnel sind Schiebetüren installiert.

Besonderheiten finden sich auch bei den Querschlägen der beiden Richtungstunnel: im Baregg-Tunnel wird der Querschlag als Schutzraum ausgewiesen und ist ausgestattet mit einer Not-Toilette, Decken und Sitzgelegenheiten. Die Querschläge im Islisberg-Tunnel sind mit nachleuchtender Wandfarbe versehen.

Im Unterschied zur häufigen Annahme in der Literatur, es sei dunkel im Tunnel, zeigen die Begehungen, dass es im Tunnel hell ist. Im Normalfall ist die Beleuchtung auf 80% eingestellt. Bei Brand wird die Beleuchtung auf 100% hochgefahren. Darüber hinaus werden die begutachteten Tunnel zweimal jährlich gereinigt, um eine ausreichende Helligkeit von Beleuchtung und Wänden sicherzustellen.

Einem möglichen Stromausfall im Ereignisfall wird mit Notstromversorgung für die verschiedenen sicherheitsrelevanten Einrichtungen (insbesondere Beleuchtung) und entsprechendem Brandwiderstand der elektrischen Installationen begegnet. Zudem werden verschiedene elektrische Installationen segmentiert, um bei Beschädigung eines Teilstücks einen Totalausfall über die gesamte Länge des Tunnels zu verhindern.

8.2 Delphi-Studie

Ziel der einstufigen Delphi-Studie war es, die Liste der Anforderungen zu bereinigen sowie kritische Punkte und Streitfragen zu identifizieren.

Dazu wurde aus den Anforderungen an Tunnelausstattung und Prozesse gemäss Literaturrecherche ein Fragebogen entwickelt (siehe Anhang). Dieser wurde durch das ASTRA über einen internen Verteiler an Vertreter von Betrieb, Polizei, Feuerwehr sowie Sicherheitsbeauftragte versendet. Zur Bearbeitung standen 14 Tage zur Verfügung. Es wurden 15 Stellungnahmen abgegeben, die zum Teil von Einzelpersonen, zum Teil von mehreren Personen gemeinsam verfasst wurden. Teilgenommen haben vier Vertreter Feuerwehr, drei Vertreter Polizei, sechs Vertreter Betrieb, zwei Vertreter ASTRA.

Die Auswertung der eingereichten Stellungnahmen ergibt, dass insbesondere bei den Themen Information der Nutzer, Signalisation des Fluchtwegs, Gestaltung des Notausgangs und Personalausstattung widersprüchliche Meinungen vorhanden sind und Klärungsbedarf besteht.

8.2.1 Anforderungen an die Tunnelausstattung

Detektion und Interface Design

Übereinstimmungen zwischen den verschiedenen Praxisexperten sowie im Vergleich zur Literatur finden sich bei den Anforderungen an die Detektion sowie an das Interface Design. Bei der Detektion ist lediglich ein Vertreter Betrieb der Ansicht, die Anforderungen bezüglich Videoüberwachung und Branddetektion seien nicht erforderlich. Beim Interface Design sehen lediglich ein Vertreter des ASTRA sowie ein Vertreter Betrieb die Anforderung, dass die wichtigsten Steuerungselemente mit einem Griff verfügbar sein sollten, als nicht erforderlich.

Sicherheit und Ausstattung SOS-Nische

Betreffend Ausstattung und Sicherheit der SOS-Nische stimmen die Teilnehmenden darin überein, dass die Nische eindeutig als kein sicherer Ort gekennzeichnet sein muss. Dem widerspricht einzig ein Vertreter der Feuerwehr. Der Verzicht auf eine Kabine wird von einem Vertreter Betrieb, zwei Vertretern Feuerwehr und einem Vertreter ASTRA als mögliche Alternative zur Kennzeichnung gesehen, jedoch von allen übrigen Praxisexperten abgelehnt. Unbestritten ist, dass das Telefon in der SOS-Nische selbsterklärend sein muss. Die Visualisierung des aktuellen Standortes im Tunnel in der SOS-Nische würde von der Mehrheit der Befragten begrüsst. Dagegen sprechen sich zwei Vertreter Betrieb sowie ein Vertreter ASTRA aus.

Der Hinweis (Piktogramm Fluchtweg), dass sich der Notausgang an der gegenüberliegenden Fahrbahnseite befindet, wird von der Mehrheit der Experten als erforderlich angesehen. Dagegen sprechen sich ein Vertreter Betrieb sowie ein Vertreter ASTRA aus.

Ebenso sehen es die meisten Teilnehmenden als erforderlich an, dass sich ein Notausgang in der Nähe der SOS-Nische befindet. Drei Vertreter Betrieb sowie zwei Vertreter ASTRA sehen hier keine Notwendigkeit.

Der direkte, ungehinderte Zugriff auf den Feuerlöscher in der SOS-Nische wird von fast allen Praxisexperten als erforderlich eingestuft. Jedoch bewerten drei von vier Vertretern Feuerwehr dies als nicht erforderlich. Einschränkend muss darauf hingewiesen werden, dass in der Umfrage nicht näher spezifiziert wurde, was unter einem direkten, ungehinderten Zugriff zu verstehen ist (kein Schrank).

Mit Ausnahme eines Vertreters Feuerwehr stimmen die Befragten damit überein, dass Feuerlöscher mit dem Piktogramm "Löcher mit Flammen" gekennzeichnet werden sollten. Dies stimmt nicht mit der in den Normen vorgegebenen Kennzeichnung überein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Befragung keine Gegenüberstellung der Piktogramme "mit Flammen" und "ohne Flammen" enthielt.

Sperrung Tunneleinfahrt

Die visuelle Sperrung des Tunnels mittels Lichtsignalanlage wird von allen Befragten ausser eines Vertreters Polizei bejaht. Die physische Sperrung mittels Barriere oder Halbbarriere ist dagegen umstritten. Sechs Befragte sprechen sich dagegen aus, darunter alle Vertreter Polizei, ein Vertreter Feuerwehr, zwei Vertreter Betrieb. Ein weiterer Vertreter Betrieb sieht Barrieren nur bedingt als erforderlich. Acht Befragte sprechen sich klar für physische Sperren aus, darunter drei Vertreter Feuerwehr, drei Vertreter Betrieb und zwei Vertreter ASTRA. Diejenigen, die dafür argumentieren, spezifizieren, dass es sich um Halbbarrieren am Portal und im Tunnelinneren handeln müsse. Darüber hinaus müssten Barrieren von Einsatzkräften geöffnet werden können. Dagegen wird argumentiert, Barrieren seien zu gefährlich, Barrieren versperrten Einsatzkräften den Weg, Barrieren versperrten flüchtenden Fahrzeugen den Weg sowie Barrieren seien nicht erforderlich: Erfahrungsgemäss passierten drei Fahrzeuge das Rotlicht, danach würden die Fahrzeuge auffahren (Sperrung wird akzeptiert).

Multifunktions tafeln, die Verkehrsteilnehmende vor dem Tunnel über die Tunnelsperrung und den Grund der Sperrung informieren, werden von neun Experten für erforderlich gehalten, davon drei Vertreter Feuerwehr, drei Vertreter Polizei, zwei Vertreter Betrieb, ein Vertreter ASTRA. Ein Vertreter Betrieb sieht dies als eingeschränkt erforderlich mit der Begründung, die Nutzer über den Grund der Tunnelsperrung zu informieren, sei nicht relevant, da die Information bereits vorher mittel VIS gegeben würde.

Information der Nutzer (Tunnel)

Übereinstimmung herrscht bei der Frage, ob Radio-Rebroadcasting über alle Frequenzen gegeben sein muss. Lautsprechersysteme hingegen werden strittig beurteilt. Acht Befragte äussern sich zustimmend, darunter drei Vertreter Feuerwehr, zwei Vertreter Polizei, ein Vertreter Betrieb, zwei Vertreter ASTRA. Ablehnend äussern sich sieben Befragte, davon ein Vertreter Feuerwehr, ein Vertreter Polizei, fünf Vertreter Betrieb.

Anzeigetafeln im Tunnel zur visuellen Information sind aus Sicht von acht Teilnehmenden erforderlich, darunter drei Vertreter Feuerwehr, ein Vertreter Polizei, drei Vertreter Betrieb, ein Vertreter ASTRA. Jeweils ein Vertreter Feuerwehr und ein Vertreter Polizei sowie zwei Vertreter Betrieb enthalten sich einer Beurteilung. Drei Befragte lehnen Anzeigetafeln ab, darunter je ein Vertreter von Polizei, Betrieb und ASTRA.

Signalisation Fluchtweg

Der Anforderung an die Signalisation des Fluchtwegs im Normalzustand stimmen alle Befragten zu.

Den Anforderungen an die Signalisation im Brandfall stimmt jeweils die Mehrheit der Experten zu: Die Hinterleuchtung der Fluchtwegschilder wird von allen Teilnehmenden ausser einem Vertreter Betrieb als erforderlich gesehen. Dies stimmt mit den Anforderungen aus der Literatur überein, widerspricht jedoch der Normvorgabe von nachleuchtenden Schildern. Die mit einer Hinterleuchtung verbundene Anforderung an die Aufbauhöhe wird von zwei Vertretern Betrieb abgelehnt, insgesamt sieben Befragte machen keine Angaben zu dieser Anforderung, sechs Befragte stimmen dieser Anforderung zu (drei Vertreter Feuerwehr, ein Vertreter Polizei, zwei Vertreter ASTRA).

Entfernungsangaben sowie Montagehöhe der Fluchtwegschilder werden von allen Befragten bejaht. Die Abstände der Schilder werden von den meisten Experten bestätigt. Ein Vertreter Betrieb verneint den Abstand von 25m.

Dynamische Signalisation sehen insgesamt acht Experten als wünschenswert, davon vier Vertreter Feuerwehr, ein Vertreter Polizei, zwei Vertreter Betrieb, ein Vertreter ASTRA. Einschränkend wird darauf hingewiesen, dass diese Massnahme sehr kostspielig sei. Dagegen lehnen vier Experten eine dynamische Signalisation ab (drei Vertreter Betrieb, ein Vertreter ASTRA). Begründet wird dies unter anderem mit der Gefahr, dass je nach Situation (Rauch, Lüftung) dabei die Menschen in die falsche Richtung gelenkt werden könnten. Die Normen sehen heute keine dynamische Signalisation vor.

Das für eine statische Signalisation empfohlene Piktogramm wird von den Befragten bestätigt. Dieses entspricht den Normvorgaben.

Eine Fluchtwegmarkierung auf beiden Fahrbahnseiten halten drei Vertreter Betrieb für nicht erforderlich, ein Vertreter Polizei sowie ein Vertreter Feuerwehr machen keine Angaben. Die Mehrheit der Befragten befürwortet eine beidseitige Markierung.

Die in der Literatur gestellten Anforderungen an die Tunnelausstattung bei Rauchentwicklung sind bei den Praxisexperten sehr umstritten. Neun Befragte lehnen akustische Signalisation ab, darunter zwei Vertreter Feuerwehr, ein Vertreter Polizei, fünf Vertreter Betrieb. Lediglich vier Befragte bejahen diese Anforderung, davon ein Vertreter ASTRA, ein Vertreter Polizei, zwei Vertreter Feuerwehr. Auffallend ist, dass sich die Betreiber durchgängig gegen akustische Signale aussprechen. Insbesondere sirenenartige Signale würden Panik auslösen und Nutzer irritieren. Im Allgemeinen könnten akustische Signale nicht geortet werden im Tunnel. Ein weiterer Einwand ist, dass die Toxizität des Rauches die Suche nach dem Notausgang obsolet mache. Dagegen sprechen Experimente im Rahmen von UPTUN, die eine starke Beschleunigung der Evakuation des Tunnels gezeigt haben durch den Einsatz von spezifischen Sound Beacons.

Die haptische Führung über einen Handlauf wird hingegen von der Mehrheit bejaht. Ablehnend stehen zwei Vertreter ASTRA sowie ein Vertreter Feuerwehr dieser Massnahme gegenüber.

Signalisation Notausgang

Bis auf die Markierung am Boden (Pfeil) werden alle Anforderungen aus der Literatur von der überwiegenden Mehrheit der Befragten befürwortet (jeweils ein bis zwei Vertreter verneinen diese). Eine zusätzliche Markierung am Boden wird hingegen von fünf Vertretern Betrieb abgelehnt. Dies insbesondere mit dem Argument, eine solche Markierung würde innerhalb von zwei Wochen so stark verschmutzen, dass sie ohnehin im Ereignisfall nicht sichtbar wäre und zu viele Zeichen zu Verwirrung bei den Nutzern führten. Von Seiten Feuerwehr wird die Markierung – sofern sie nachleuchtend sei - begrüsst, weil die Sichttrübung oben grösser sei als unten.

Gestaltung Notausgang

Die Anforderungen an die Gestaltung des Notausgangs sind teilweise umstritten. Sechs Befragte sehen den Grundsatz Rampe vor Treppe als nicht erforderlich an. Darunter zwei Vertreter Feuerwehr, ein Vertreter Polizei, drei Vertreter Betrieb. Mit Ausnahme eines Vertreters Betrieb stimmen die Befragten der Anforderung zu, dass die Türöffnung leicht und in Fluchtrichtung zu öffnen sein sollte. Allerdings wird mehrfach spezifiziert, dass auch Schiebetüren möglich seien. Dies spricht gegen die Spezifikation "in Fluchtrichtung". Die Funktionsweise "wie eine normale Tür" wird von vier Experten in Frage gestellt, darunter zwei Vertreter Feuerwehr, zwei Vertreter Betrieb. Die Nutzer seien es aus Gebäuden gewohnt, mit unterschiedlichen Arten von Türen umzugehen.

Unumstritten sind dagegen die beiden Anforderungen, die Tür müsse immer unvergeschlossen und beleuchtet sein.

Ausstattung Querschlag

Die Installation eines Lautsprechersystems im Querschlag ist umstritten bei den Experten. Sieben Teilnehmende befürworten diese Anforderung (drei Vertreter Feuerwehr, zwei Vertreter Polizei, ein Vertreter Betrieb, ein Vertreter ASTRA), ebenso viele verneinen sie (fünf Vertreter Betrieb, ein Vertreter Polizei, ein Vertreter ASTRA), ein Befragter macht keine Angaben. Die Ausstattung mit einem Notruftelefon wird als Erfordernis angesehen. Ebenso werden die Hinweise "kein sicherer Ort" und "in Richtung... verlassen" von der Mehrheit der Befragten für erforderlich gehalten. Die Installation eines beleuchteten Exit-Schildes auf der Ausgangstüre in Richtungstunneln wird bereits von fünf Befragten, darunter vier Vertreter Betrieb, abgelehnt. Die Hinweise "Achtung Verkehr" sowie "nicht in den Tunnel zurückkehren" hingegen werden von der überwiegenden Mehrheit der Praxisexperten bejaht.

Ausstattung Rettungstollen

Die Anforderungen aus der Literatur sind unumstritten.

Ausstattung Schutzraum

Die Ausstattung des Schutzraums mit Lautsprechern wird von acht Experten befürwortet, darunter drei Vertreter Feuerwehr, zwei Vertreter Polizei, ein Vertreter Betrieb, zwei Vertreter ASTRA. Abgelehnt wird diese Anforderung von drei Vertretern Betrieb. Die weiteren Befragten machen keine Angaben.

Die Ausstattung mit einem Notruftelefon sowie Hinweistafeln "Sicherer Ort. Auf Rettungskräfte warten" und "Nicht in Tunnel zurückkehren" sind unbestritten. Hingegen sind die Anforderungen Trinkwasser, Decken und Sitzgelegenheiten bereitzustellen stärker umstritten. Diese Anforderungen werden jeweils von weniger als der Hälfte der Befragten als erforderlich eingestuft.

Funkausstattung Einsatzkräfte

Ein Funksystem, das die Kommunikation innerhalb und ausserhalb des Tunnels ermöglicht, wird von allen Experten als erforderlich angesehen.

8.2.2 Anforderungen an Prozesse und Organisation

Notfall- und Einsatzpläne

Alle Anforderungen werden von allen Praxisexperten als erforderlich betrachtet.

Vereinfachung von Abläufen im Ereignisfall

Die Anforderungen werden von fast allen Praxisexperten als erforderlich betrachtet (jeweils ein bis zwei Befragte verneinen die Erforderlichkeit).

Training und Routine

Regelmässige gemeinsame Übungen werden von allen Praxisexperten als erforderlich betrachtet. Computer basierte Trainingstools werden von vier Befragten abgelehnt, von einem Befragten als bedingt erforderlich angesehen. Begründet wird dies einerseits mit der Qualität der heute am Markt erhältlichen Tools, die die Situation im Tunnel noch nicht genügend realitätsnah mit allen Variablen abbilden kann. Andererseits erfolgt der Hinweis, dass Computer basiertes Training eine Übung vor Ort nicht ersetzen kann.

Organisation / Kantonsüberschreitende Tunnel

Die räumliche Konzentration von technischem Betrieb und Verkehrslenkung wird von der Mehrheit der Experten befürwortet. Die Anforderungen an Organisation und Kooperation in kantonsüberschreitenden Tunneln wird mehrheitlich als erforderlich angesehen.

Rekrutierung – Anforderungsprofil Betriebs- und Verkehrsleitzentrale

Die Anforderungen werden von fast allen Praxisexperten als erforderlich betrachtet.

Personalausstattung Betriebs- und Verkehrsleitzentrale

Die Anforderungen werden von fast allen Praxisexperten als erforderlich betrachtet.

Kooperation mit Einsatzkräften

Die Anforderungen werden von fast allen Praxisexperten als erforderlich betrachtet.

Information Nutzer

Die Anforderungen werden von fast allen Praxisexperten als erforderlich betrachtet.

Allein die Anforderung, Nutzer mithilfe von akustischen Anweisungen sowohl im Tunnel als auch im Querschlag und im Rettungstollen zu führen, wird von vier Vertretern Betrieb als nicht erforderlich angesehen.

Wissen Brandbekämpfung im Tunnel

Die Anforderungen werden von fast allen Praxisexperten als erforderlich betrachtet.

Qualitätssicherung

Die Anforderungen werden von fast allen Praxisexperten als erforderlich betrachtet.

Technische Ausstattung Feuerwehr

Die Anforderungen werden von fast allen Praxisexperten als erforderlich betrachtet.

8.2.3 Anforderungen an das Vorwissen der Nutzer

Die Anforderung, das richtige Verhalten bei einem Tunnelbrand in den Fahrschulunterricht zu integrieren, wird von fast allen Praxisexperten als erforderlich betrachtet. Einer entsprechenden Fahrprüfung stehen fünf Befragte ablehnend gegenüber. Jeweils sechs Teilnehmende sehen ein Fahrschultraining zum Umgang mit Feuerlöschern sowie im Umgang mit Notrufsäulen als nicht erforderlich an. Ein spezielles Fahrschultraining für Berufsfahrer wird hingegen von fast allen Experten befürwortet.

8.3 Workshop mit Praxisexperten

Ziel des Workshops mit Praxisexperten war es, die kritischen Punkte aus der vorgängigen Delphi-Studie zu bereinigen und Empfehlungen der Praxisexperten für die Anforderungen an die Tunnelausstattung, Organisation und Prozesse zu erarbeiten.

Als Experten aus der Praxis geladen waren drei Vertreter Betrieb sowie jeweils ein Vertreter von Polizei und Feuerwehr. Aufgrund kurzfristiger Absagen von zwei Betreibern wurde der Workshop in paritätischer Besetzung durchgeführt. Für den Workshop standen 2,5 Stunden zur Verfügung.

Inhaltlich fokussierte der Workshop auf die strittigen Themen Information der Nutzer (Tunnel, Querschlag, Rettungstollen), Sperrung Tunneleinfahrt, Signalisation des Fluchtwegs, Gestaltung des Notausgangs und Personalausstattung. Darüber hinaus wurden die Punkte Training und Routine sowie Vorwissen der Nutzer angesprochen.

8.3.1 Anforderungen an die Tunnelausstattung

Information der Nutzer (Tunnel)

Betreffend die akustische Information wurde in der Delphi-Studie die Anforderung eines Lautsprechersystems im Tunnel strittig beurteilt. Die Praxisexperten im Workshop sehen einerseits die Vorzüge einer Information der Nutzer im Tunnel über Lautsprecher. Allerdings halten sie Lautsprecher aus technischen Gründen für nicht einsetzbar im Tunnel. Es sei dort zu laut. Die Durchsage könne daher kaum verstanden werden. Zudem würde die Durchsage aufgrund starken Widerhalls im Tunnel verzerrt. Im Zusammenspiel mit anderen Sicherheitsmassnahmen (Blinklichter, Lüftungsgeräusche, etc.) führe dies zu Verwirrung bei den Nutzern. Wichtig ist es nach Ansicht der Experten, in der Notsituation Ruhe zu vermitteln. Daher sollten nur wenige, aber eindeutige Signale gegeben werden. Technische Lösungen für die akustische Problematik wie sie in der Literatur beschrieben werden, werden von den Experten eher skeptisch beurteilt, auch unter dem Aspekt der Kosten für Beschaffung, Installation und Unterhalt.

Um die Nutzer dazu zu bringen, das Auto zu verlassen, sei es besser sie über Radio zu informieren. Es sollte ein Schwerpunkt gesetzt werden auf die Frage, wie die Nutzer dazu bewegt werden können im Tunnel Radio zu hören. Als technische Lösung schlagen die Experten vor, ein System zu entwickeln, mit dem ein Autoradio automatisch einschaltet bei Einfahrt in einen Tunnel.

Die visuelle Information der Nutzer im Tunnel wird von den Experten im Workshop als zwingend erforderlich gesehen. Visuelle Information über Anzeigetafeln wird auch von der Mehrheit der Delphi-Teilnehmenden als erforderlich angesehen. In den besichtigten Tunneln wurden jedoch keine solchen vorgefunden. Die Betreiber begründen dies mit mangelndem Platz. Gemäss den Experten des Workshops stellen grosse VMS ein Platzproblem dar in den älteren Tunneln. In den modernen Tunneln mit 5m Höhe sei genügend Raum für Wechseltextanzeigen. Dort würden diese auch eingesetzt. Eine mögliche

technische Lösung für bestehende Tunnel sei die Umnutzung der ansteuerbaren Anzeigetafeln für Geschwindigkeitssignale. Auf diesen könne im Brandfall ein eindeutiges Fluchtsignal aufgeschaltet werden. Dies sollte eher kein Text sein, aufgrund von Sprachproblemen und Platzmangel. Stattdessen solle die Nutzung oder gegebenenfalls Entwicklung eines international gültigen und bekannten Fluchtsignets geprüft werden. Dies wäre aus Sicht der Praxisexperten eine Massnahme mit einem günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Information der Nutzer (Querschlag und Rettungsstollen)

Von der Literatur gefordert wird die akustische Information der Nutzer über Lautsprecher im Querschlag und Rettungsstollen, um den Nutzern neben Informationen zur Situation im Tunnel klare Handlungsanweisungen zu geben und zu verhindern, dass diese in den Tunnel zurückkehren. Nach Aussagen der Praxisexperten gilt der Querschlag als Schutzraum. Es gelte das Aufenthaltsprinzip: Die Nutzer sollen im Querschlag warten bis sie dort abgeholt und über den Rettungsstollen nach draussen geführt werden. Lautsprecher im Querschlag für Ansagen des Betreibers werden daher befürwortet. Diese sollten in Kombination mit einer Gegensprechanlage oder einem Telefon installiert werden. Die Möglichkeit persönlichen Kontakt herzustellen zu Betreibern und/oder Einsatzkräften beruhige die Nutzer.

Für Rettungsstollen wird hingegen keine Notwendigkeit von Lautsprechern gesehen. Die Nutzer sollen nicht alleine durch den Rettungsstollen nach draussen laufen. Der Rettungsstollen ist ein wichtiger Einsatzweg zum Brandherd. Wenn Nutzer diesen als Fluchtweg nutzen, werden die Einsatzkräfte blockiert. Wenn Nutzer alleine im Rettungsstollen unterwegs sind, könnten Lautsprecherdurchsagen allerdings beruhigend wirken.

Sperrung Tunnelleinfahrt

Widersprüchlich diskutiert wird der Einsatz physischer Barrieren von den Delphi-Befragten. Die Experten des Workshops befürworteten minimale Barriersysteme (Halbbarriere). Aus Sicht der Feuerwehr sind Schranken eher problematisch. Es sind nur Schranken möglich, die von der Feuerwehr bei einem Einsatz geöffnet werden können. Ein guter Kompromiss und daher erwünscht sind Halbbarrieren, denn eine physische Barriere erhöht die Einhaltung der Tunnelsperrung bei den Nutzern. Alternativ könne auch ein Polizist vor dem Portal platziert werden. Eine Schranke sei jedoch die schnellere und kostengünstigere Lösung.

Die visuelle Information der Nutzer über den Grund der Tunnelsperrung mittels Wechseltextanzeigen vor dem Tunnelportal wird von der Mehrheit der Delphi-Teilnehmenden als erforderlich angesehen. Auch die Experten des Workshops befürworten diese Massnahme: Den Grund für die Tunnelsperrung bekannt zu geben, wäre sinnvoll. Angegeben werden sollten voraussichtliche Wartezeit und Grund für Sperrung gemäss den Vorgaben der ViaSuisse. Dadurch könnten viele unnötige Anrufe von Nutzern bei der Polizeizentrale vermieden und diese dadurch entlastet werden. Zu diskutieren sei die Distanz der Anzeige zum Tunnelportal. Idealerweise sollten zwei Anzeigetafeln aufgestellt werden: eine in der Anfahrtszone, ca. 2-3km vor dem Portal, aber nicht weiter als die letzte Ausfahrt vor dem Tunnel, sowie eine zweite näher am Tunnelportal (150-200m). Zu unterscheiden ist bei der Festlegung der Distanzen zwischen Strassentunneln auf Stadtgebiet und solchen auf Überlandstrecken.

Signalisation Fluchtweg

Fluchtwegschilder sollen gemäss Literatur hinterleuchtet sein. Dem stimmt die Mehrheit der Delphi-Teilnehmenden zu. Derzeit werden jedoch keine hinterleuchteten Schilder eingesetzt. Die Normvorgabe lautet "retro-reflektierend oder nachts beleuchtet". Wissenschaftler geben an, die in der Schweiz eingesetzten nachleuchtenden Schilder seien nicht salient (vgl. Groner et al. 2000). D.h. es dauert zu lange bis der Mensch die Schilder wahrnehmen kann.

Die Praxisexperten des Workshops lehnen hinterleuchtete Fluchtwegschilder ab. Moderne Tunnel seien gut ausgeleuchtet, bei einem Grossereignis wird die Beleuchtung auf das Maximum hochgefahren. Daher sei es im Ereignisfall hell im Tunnel. Der Eingang zum Fluchtstollen sollte beleuchtet sein, alles andere sollte nachleuchtend sein. Zu viele

leuchtende Objekte würden den Nutzer verwirren. Es müsse klar und ruhig sein in der Notsituation. Zudem seien vorstehende, selbstleuchtende Schilder im Unterhalt problematisch (Reinigung).

Die beidseitige Beschilderung des Fluchtweges wird von den Praxisexperten als sinnvoll, jedoch nicht als zwingend erforderlich gesehen. Dies auch mit dem Hinweis auf die gute Sichtbarkeit im Tunnel. In der Delphi-Befragung wurde diese Massnahme von der Mehrheit der Experten befürwortet.

Dynamische Signalisation wird von den Experten abgelehnt. Dies führe zu einer Überforderung der Betriebszentrale. Die Experten weisen auf die Problematik des menschlichen Irrtums hin in einer ausserordentlichen Stresssituation: Wer soll entscheiden wann wer in welche Richtung laufen soll?

Akustische Signalisation mittels selbsterklärender Sound Beacons wird von den Praxisexperten mit der gleichen Begründung abgelehnt wie Lautsprechersysteme im Tunnel. Die Sound Beacons seien schwer lokalisierbar, führten aufgrund der speziellen Akustik im Tunnel zu Irritationen bei den Nutzern und widersprächen dem Grundsatz der Ruhe. Diese Argumentation entspricht der Mehrheit der Delphi-Teilnehmenden.

Auch eine haptische Signalisation wird abgelehnt. In modernen, gut ausgeleuchteten Tunnel sei dies nicht erforderlich. Handläufe seien problematisch bei der Reinigung und einen schmutzigen Handlauf fasse niemand an. Dies steht im Widerspruch zu den Ergebnissen der Delphi-Studie, bei der die Mehrheit der Experten Handläufe befürwortet.

Signalisation Notausgang

Die zusätzliche Markierung des Notausgangs mithilfe eines Pfeils am Boden ist aus Sicht der Praxisexperten im Workshop nicht erforderlich, da die Vorräume gut ausgeleuchtet sind. Zudem wird das Argument der schnellen Verschmutzung bestätigt.

Signalisation Rettungstollen

Eine entsprechende Signalisation wird als nicht erforderlich erachtet, solange das Aufenthaltsprinzip gilt.

Gestaltung Notausgang

Das Funktionieren wie eine "normale" Tür wird von den Befragten der Delphi-Studie in Frage gestellt.

Aus Sicht der Praxisexperten im Workshop sei die einfachste Lösung die beste Lösung, wie vergangene Ereignisse gezeigt haben (z.B. Brand im Gotthardtunnel). Daher sollten einfache mechanische Lösungen bevorzugt werden. Komplexe mechanische Lösungen wie Druckentlastungsklappen etc. seien neben den hohen Beschaffungskosten problematisch in Unterhalt und Wartung. Grundsätzlich sollten Türen folgende Anforderungen erfüllen:

- Einfache mechanische Lösung
- Möglichst wartungsfrei
- Zuverlässig
- Leicht zu öffnen

In der Praxis werden diese Anforderungen von Schiebetüren erfüllt. Diese sind den Nutzern bekannt, da sie z.B. als Balkon- und Terrassentüren in Gebäuden etabliert sind. Schiebetüren können so eingestellt werden, dass sie leicht zu öffnen sind.

Funkausstattung Einsatzkräfte

Wichtig wäre Funkempfang im Rettungstollen und in Nebenräumen für die Einsatzkräfte. Dies ist nach Angaben der Praxisexperten heute noch nicht sichergestellt.

Tabelle: Vergleich Normen und Anforderungen Praxisexperten

Anforderung	gemäss Praxisexperten
Detektion	Ok.
Interface Design	Anforderungen definieren.
Sicherheit SOS-Nische	Ok.
Ausstattung SOS-Nische	Ok/Telefonhörer.
Sperrung Tunneleinfahrt	Barriere. Signet. Botschaft.
Information Nutzer	Radio. Signet. Botschaft.
Signalisation Fluchtweg	Beidseitig.
Signalisation Notausgang	Hinweis "Seitenwechsel".
Gestaltung Notausgang	Einfach. Wartungsfrei. Zuverlässig.
Ausstattung Querschlag	!Aufenthaltsprinzip.
Ausstattung Rettungsstollen	!Aufenthaltsprinzip.
Funkausstattung Einsatzkräfte/Betreiber	Verfügbarkeit intra/extra.

8.3.2 Anforderungen an Prozesse und Organisation

Information der Nutzer

Gemäss den Praxisexperten sollten Anweisungen mindestens in der lokalen Landessprache gegeben werden. Auf diese Weise könnten bereits die erforderlichen 10 Prozent der Nutzer erreicht werden, die sich in Bewegung setzen und andere Nutzer informieren. Damit Nutzer bewegt werden können, müsse die Polizei (Autorität) als Absender erkennbar sein und die Anweisungen müssten eindeutig sein. Dazu müsse zunächst definiert werden, welche die richtige Information wäre, um die Nutzer zum Verlassen des Tunnels zu bewegen ohne Panik auszulösen (vgl. Forschungslücken).

Personalausstattung

Die Anforderungen an die Personalausstattung, insbesondere bezüglich des Aufmerksamkeitsniveaus, werden von den Praxisexperten bestätigt. In kleinen Kantonen mit geringem Verkehrsaufkommen ist die Beschäftigung der Mitarbeitenden ein Problem. Wenn plötzlich ein Ereignis eintritt, sind die Mitarbeitenden schnell überfordert. Der Kanton Uri führt daher neu ein Zwei-Mann-System ein im Rahmen des ASTRA-Projekts "Effizienzsteigerung am Gotthard".

Künstliche Zusatzaufgaben zur Beschäftigung der Mitarbeitenden werden nicht als sinnvoll erachtet.

Aus Sicht der Praxisexperten könnte eine mögliche Lösung sein, die zu überwachenden Gebiete grösser zu machen. Die Gebiete dürfen jedoch eine gewisse Grösse nicht überschreiten, da sonst die Ortskenntnis nicht mehr gewährleistet ist. Es ist zudem zwischen den Erfordernissen bei der Verkehrsleitung und der Betriebstechnik zu unterscheiden.

Training / Routine

„In Krisen Köpfe kennen“. Gemäss diesem Grundsatz halten die Experten des Workshops regelmässige gemeinsame Übungen von Feuerwehr, Polizei und Betreibern für unerlässlich: im Übungstunnel und vor Ort. Es wird darauf hingewiesen, dass im Gotthard einmal jährlich solch eine Übung durchgeführt wird.

8.3.3 Anforderungen an das Vorwissen der Nutzer

Die Praxisexperten weisen darauf hin, dass Studien zur Kenntnis der Notfallnummern zeigten, wie wenig auf das Vorwissen der Nutzer gesetzt werden könne. Die Information an die Nutzer müsse daher in der Situation selbst gegeben werden.

Bezüglich der Nutzung von Feuerlöschern sind die Experten der Ansicht, dass viele kleine Brände gelöscht werden könnten, bevor sie zum Grossbrand werden. Die Nutzer haben jedoch Hemmungen, den Feuerlöscher zu gebrauchen. Daher wird empfohlen, z.B. im Rahmen der Fahrschulausbildung oder in TCS-Kursen eine praktische Kurzschulung zum Umgang mit Feuerlöschern anzubieten, um diese Hemmungen abzubauen.

9 Ergebnisse Literatur – Praxis (Phase 1)

9.1 Vergleich Literatur – Praxis

Das Fazit sowohl aus der Literaturanalyse als auch aus der Spiegelung mit der Praxis ist: Die technischen Normen und Richtlinien sowie die Betriebsabläufe berücksichtigen die menschlichen Bedürfnisse und das menschliche Verhalten im Tunnel zu wenig. Regelungsbedarf besteht insbesondere bei der Information der Nutzer im Tunnel, der Signalisation des Fluchtwegs, der Regelung zu Türen am Notausgang sowie der Tunnelsperrung.

Inhaltlich unterscheiden sich jedoch die empfohlenen Massnahmen zum Teil beträchtlich. Insgesamt fordern die Experten in der Literatur eine umfangreichere Liste an technischen Massnahmen und Ausstattung. Die Praxisexperten tendieren zu einer schlankeren Tunnelausstattung basierend auf dem Status Quo. So wird beispielsweise bei der Information der Nutzer eher darauf gesetzt, bestehende Strukturen (Radio hören) zu fördern statt neue Mittel einzusetzen (Lautsprecher). Eine Schwierigkeit im Umgang mit den Ergebnissen stellen verschiedene Unstimmigkeiten zwischen Empfehlungen der Mehrheit der Teilnehmenden der Delphi-Studie und denjenigen der Praxisexperten des Workshops dar. Dies betrifft insbesondere die Signalisation des Fluchtwegs. Während die Mehrheit der Delphi-Befragten hinterleuchtete Schilder befürwortet, lehnen die Experten im Workshop dies ab. Ebenso sprechen sich die Experten in der Delphi-Studie für eine haptische Führung (Handlauf) aus, die Experten des Workshops sehen dies als nicht erforderlich an. Bei der Ausstattung des Querschlags mit Lautsprechern sind die Teilnehmenden der Delphi-Studie geteilter Meinung, während die Praxisexperten des Workshops dies deutlich bejahen.

Die folgende Tabelle zeigt, wie die optimale Tunnelausstattung gemäss Literatur und gemäss Praxisexperten aussieht:

Anforderung	Literatur	Praxisexperten
Information Nutzer		
Lautsprecher	Ja	Nein
Radio-Rebroadcasting	Ja	Ja
Anzeigetafeln	Ja	Ja
Standardansagen	Ja	Ja
Tunnelsperrung		
Rotlicht/Chrüzlistich	Ja	Ja
Barriere / Halbbarriere	Ja	Ja
Wechseltextanzeige	Ja	Ja
Signalisation Fluchtweg		
Hinterleuchtete Schilder	Ja	Ja (Delphi) / Nein (Workshop)
Entfernungsangaben	Ja	Ja
Auf beiden Fahrbahnseiten	Ja	Ja
Abstand 25m	Ja	Ja

Dynamische Signalisation	Ja	Nein
Sound Beacons (Exit here)	Ja	Nein
Handlauf	Ja	Ja (Delphi) / Nein (Workshop)
Signalisation Notausgang		
Grüne, beleuchtete Tür...	Ja	Ja
Blitzlicht	Ja	Ja
Markierung am Boden	Ja	Nein
Gestaltung Notausgang		
Keine Treppe	Ja	Ja
Tür leicht zu öffnen	Ja	Ja
Türfunktion vgl. Gebäude	Ja (Flügeltür)	Ja (Schiebetür)
Tür unverschlossen, beleuchtet	Ja	Ja
Ausstattung Querschlag		
Lautsprecher	Ja	Ja/Nein (Delphi) / Ja (Workshop)
Notruftelefon	Ja	Ja
Beschilderung "kein sicherer Ort,..."	Ja	Ja
Beschilderung "Exit", "Achtung Verkehr", "nicht in Tunnel zurückkehren"	Ja	Ja
Ausstattung Rettungsstollen		
Pfeile in Fluchrichtung...	Ja	Ja
Entfernungsangaben	Ja	Ja
Ausstattung Schutzraum		(Querschlag als Schutzraum)
Lautsprecher	Ja	Ja
Notruftelefon	Ja	Ja
Beschilderung "sicherer Ort, auf Rettungskräfte warten"	Ja	Ja
Trinkwasser, Decken, Sitzgelegenheiten	Ja	Nein
Funkausstattung		
Kommunikation in und ausserhalb Tunnel	Ja	Ja

9.2 **Bewertung der Ergebnisse aus Phase 1**

Sowohl die Forschungslücken als auch die Unstimmigkeiten in den Empfehlungen der Praxisexperten zeigen, dass eine Vertiefung der Ergebnisse erforderlich ist, bevor eine allfällige Änderung von Normen eingeleitet werden kann. Um genauere Anhaltspunkte zu bekommen, welches Ausstattungssetting – "Anforderungen aus der Literatur" oder "Anforderungen aus den Praxisempfehlungen" – die Evakuierung beschleunigt, ist ein Praxistest im Experiment unumgänglich.

10 Diffusion und kritische Überprüfung der Anforderungen (Phase 2)

Gemäss den Ergebnissen des Vergleichs von Literatur- und Praxisempfehlungen hat die Begleitkommission für die Phase 2 des Forschungsprojekts eine Diffusion der Ergebnisse in die Praxis empfohlen, bei der die einzelnen Anforderungen an die Tunnelausstattung von einer breiteren Gruppe an Praxisexperten nochmal überprüft werden sollten: Hat das von den Praxisexperten im Workshop der Phase 1 mehrfach zitierte Ruheprinzip Bestand über alle Kantone? Falls das Prinzip Bestand hat, welche Anforderungen an die Tunnelausstattung müssten dann gestellt werden. Dazu wurden drei Workshops (zwei in der Deutschschweiz, einer in der Romandie) mit Vertretern von Polizei, Feuerwehr, Betrieb und Ingenieurbüros durchgeführt.

Neben dem Grad der technischen Ausrüstung des Tunnels wurde in diesem Rahmen auch das von den Praxisexperten in Phase 1 angeführte Aufenthaltsprinzip geprüft. Inwieweit besitzt dieses Allgemeingültigkeit in der Schweiz? Falls das Prinzip Bestand hat, welche Anforderungen müssten dann an die Ausstattung von Querschlag und Rettungstollen gestellt werden, z.B. unter dem psychologischen Aspekt des Aufforderungscharakters eines Raumes?

Die Ergebnisse der verschiedenen Abklärungen werden jeweils unter verhaltenswissenschaftlichen Aspekten kritisch diskutiert. Es werden Empfehlungen abgegeben, welche Massnahmen geeignet sind, um das menschliche Verhalten bei einem Grossereignis in einem Schweizer Tunnel heutigen Standards wirksam zu beeinflussen.

10.1 Vorabklärung

Erste telefonische Anfragen (u.a. Feuerwehr Koordination Schweiz FKS), inwiefern das Ruhe- und das Aufenthaltsprinzip im Ereignisfall als Standards bekannt sind, ergaben kein einheitliches Bild. Die nähere Abklärung wurde daher in die Workshops mit Praxisexperten integriert, bei denen Experten von Feuerwehr, Polizei und Betreibern vertreten waren.

10.2 Workshops mit Praxisexperten

Die dreistündigen Workshops fanden in Zürich (28.6.2011), Bern (29.6.2011) und Lausanne (30.6.2011) statt. Die Workshops wurden in deutscher (Zürich, Bern) und in französischer Sprache (Lausanne) durchgeführt. In der Deutschschweiz nahmen jeweils 8-10 Personen teil, in der Romandie waren es etwa doppelt so viele. Auf der Basis der Ergebnisse der Phase 1 wurden die strittigen Punkte entlang den Ereignis relevanten Themen „Tunnelsperrung“, „Information der Nutzer“, „Signalisation Fluchtweg“, „Signalisation und Gestaltung Notausgang“, „Ausstattung Querschläge und Rettungstollen“ thematisiert. Es konnten nicht alle strittigen Punkte aufgelöst werden. Die detaillierten Ergebnisse der einzelnen Workshops finden sich in Anhang I.9. Um Redundanzen zu vermeiden, fliesst die Synthese der Workshops direkt ein in Kapitel 10.5.4 Definition Anforderungen.

10.3 Befragung Experten Nachbarländer

Angefragt wurden sowohl staatliche Stellen als auch private Tunnel- bzw. Autobahnbetreiber und deren Experten, ob in ihren Gebieten die beiden Prinzipien, Ruheprinzip und Aufenthaltsprinzip, bekannt sind und Anwendung finden. Die Rückmeldungen zeigen, dass es keine einheitliche Anwendung der beiden Prinzipien in den europäischen Nachbarländern der Schweiz gibt. Dies bezieht sich sowohl auf die Bekanntheit und Gültigkeit der Prinzipien als auch auf die tatsächlichen Anforderungen an das Verhalten der Nutzer respektive an die Tunnelausstattung.

Deutschland

Die Anfrage wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) beantwortet. Aufgrund des föderalistischen Systems, in dem die Kompetenzen bezüglich Sicherheit und Strassenverkehr bei den einzelnen Bundesländern liegen, können im Einzelnen unterschiedliche Vorgaben und Vorgehensweisen bestehen.

Gemäss BMVBS gilt in Deutschland primär das Fluchtprinzip: „Nach Erreichen des sicheren Bereiches sieht das Rettungskonzept bevorzugt das selbstständige Verlassen der Rettungswege durch den Nutzer bis ins Freie vor, für mobilitätseingeschränkte Tunnelnutzer besteht jedoch immer ausreichend Zeit für eine Bergung durch die Einsatzdienste.“ (Wolf-Dieter Friebe, BMVBS).

Frankreich

Die Anfrage wurde an verschiedene Autobahn- und Tunnelbetreiber gerichtet sowie an die mit dem Thema Tunnelsicherheit beauftragte staatliche Behörde, Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

Es liegen Antworten von zwei Betreibern sowie des Ministeriums vor:

1. Bertrand de St. André, APRR Région Rhône: das Ruheprinzip wird derzeit nicht angewendet, jedoch als interessantes Kriterium erachtet. Das Aufenthaltsprinzip gilt hingegen. Demnach sollen Nutzer jeweils im Rettungsstollen oder in der zweiten Tunnelröhre auf der Höhe des Querschlags warten bis die Einsatzkräfte sie abholen.
2. Pierre-François Linares, Tunnel du Mont Blanc: das Ruheprinzip hat keine einschränkende Auswirkung auf die Ausstattung des Tunnels. Lautsprecher werden lediglich aus akustischen Gründen (Ventilation) nicht eingesetzt. Alle 300 m kommen Anzeigetafeln zum Einsatz (WTA), auf denen Handlungsanweisungen platziert werden. Es gilt jedoch das Aufenthaltsprinzip: Nutzer müssen im Ereignisfall in den Schutzräumen warten bis sie von den Einsatzkräften abgeholt werden.
3. Marc Tesson, CETU / Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement : das Ruheprinzip gilt. Im Notfall soll die Anzahl an Reizen eingeschränkt sein. Dennoch sollen verschiedene Sinne angesprochen werden, um auf die Gefahrensituation aufmerksam zu machen und Nutzer zur Evakuierung zu bewegen. Je nach Tunnel werden daher verschiedene Kommunikationskanäle (akustisch, visuell) miteinander kombiniert. Das Aufenthaltsprinzip kommt bedingt zur Anwendung. Nutzer sollen sich nur solange in den Querschlägen aufhalten bis kein Verkehr mehr in der zweiten Tunnelröhre ist. Sobald die zweite Tunnelröhre gesperrt ist, werden die Nutzer aufgefordert den Tunnel über diese Röhre selbstständig zu verlassen und sich an den markierten Sammelpunkten zu gruppieren (entweder auf Höhe der Querschläge oder jeweils an den Tunnelportalen).

Österreich

Die Anfrage wurde an die Experten der Autobahnen- und Schnellstrassen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) gerichtet:

Das Ruheprinzip ist gemäss Günther Ratte, ASFINAG, als solches nicht bekannt. Eine Reizeinschränkung kann nur schwer erreicht werden. Allerdings werden Lautsprecheranlagen nur als Notinformationssysteme eingesetzt, wenn alle anderen Kommunikationswege wie Funk, Notruf und Telefoneinrichtungen ausgefallen sind. Hinterleuchtete Verkehrszeichen (Notrufsymbole, Gebots- und Verbotssymbole) werden bei zukünftigen Neubauten nicht mehr verwendet und bei Sanierungen gegen hochreflektierende statische Verkehrszeichen (Notrufsymbole) und LED-Wechselverkehrszeichen (Überholverbote, Geschwindigkeitsbegrenzungen) ausgetauscht.

Das Aufenthaltsprinzip gilt nur bedingt, und zwar für Personen, die sich aus eigener Kraft nicht aus den Gefahrenbereichen entfernen können, und daher auf fremde Hilfe („Fremdrettung“) angewiesen sind. Die Fremdrettung erfolgt vorwiegend durch die Einsatzdienste. Ein Aufenthalt in Querschlägen wird grundsätzlich nicht empfohlen, da diese nicht als Schutzräume mit den entsprechenden Einrichtungen, wie z.B. Sauerstoffzufuhr, Sitzgelegenheiten etc. ausgerüstet sind. Wo sich auf Fremdrettung angewiesene Personen im sicheren Bereich aufhalten sollen, wird nicht spezifiziert.

Italien

Die Anfrage wurde an das zuständige Ministerium Azienda Nazionale Autonoma delle Strade (ANAS) gerichtet. Dessen offizielle Antwort verwies auf die Regelung der Tunnelausstattung gemäss EU Richtlinie 2004/54/EC. Eine konkrete Aussage bezüglich der beiden Prinzipien wurde nicht gemacht.

10.4 Definition Anforderungen an die Tunnelausstattung**10.4.1 Aufenthaltsprinzip**

Die Teilnehmenden aller Workshops sind sich einig, dass das Aufenthaltsprinzip in der Schweiz nicht oder nur bedingt Bestand hat. Stattdessen seien Schweizer Tunnel nach dem Fluchtprinzip (Selbstrettung aus dem Tunnel statt Verbleib im Querschlag) ausgestattet und Ereignispläne entsprechend ausgelegt. Nach Meinung der Experten kann das Aufenthaltsprinzip nicht in allen Tunneln gelten. Die Gültigkeit des jeweiligen Prinzips sollte abhängig vom Tunnelsystem sein, insbesondere von dessen Länge und der damit verbundenen Möglichkeit zur vollständigen Selbstrettung (lange Wege). Welches Prinzip in einem Tunnel im Ereignisfall gilt, soll eindeutig aus der entsprechenden Signalisation hervorgehen.

Gilt das Aufenthaltsprinzip, so resultieren daraus Anforderungen an die Ausstattung der als Aufenthaltsort definierten Querschläge. Diese Anforderungen wurden aus fachpsychologischer Sicht definiert (siehe Anhang I.9). In Zusammenarbeit mit der Firma Scians „Scientific answers“ wurde eine Liste an Mindestanforderungen erstellt, die ein Raum erfüllen muss, um einen Aufforderungscharakter zu erhalten, der Nutzer zum Aufenthalt bewegen kann.

Mindestanforderungen gem. Fachpsychologen (scians)
Helle Beleuchtung
Gerade, schallschluckende Zwischendecke. Farbe: schwarz
Sitzgelegenheiten
Wände in Pastelltönen (Miller-Pink oder hellblau)
Beschilderung/Infotafeln
Lautsprecher: permanente Information der Nutzer
Videoüberwachung
Handyempfang
Gegensprechanlage o.ä. Möglichkeit der Kommunikation Nutzer – Betreiber
Trinkwasser
Notfallkoffer
Wolldecken

Das Aufenthaltsprinzip entspricht einem Bedürfnis der Einsatzkräfte, im Ereignisfall die Rettungsstollen als weiteren Zugang zum Brandherd nutzen zu können sowie Tunnelnutzer für eine bessere Übersicht an einem Ort zu sammeln. Es dient nicht der Verbesserung der Selbstrettung.

Mit Blick auf das menschliche Verhalten im Ereignisfall wird die Etablierung des Aufenthaltsprinzips nicht empfohlen. In der Gefahrensituation haben Menschen das natürliche Bedürfnis, sich aus der Gefahrenzone heraus in Sicherheit zu bringen, d.h. aus dem brennenden Tunnel zu fliehen. Ein imperatives Aufenthaltsprinzip widerspricht diesem natürlichen Drang nach Draussen in einer lebensbedrohlichen Situation. Um Nutzer zum Aufenthalt zu bewegen ist ein verhältnismässig hoher Aufwand erforderlich. Das Fluchtprinzip, das den bestehenden Selbstrettungsmassnahmen zugrunde liegt, entspricht dem natürlichen Verhalten des Menschen in einer Gefahrensituation.

Dem Bedürfnis der Einsatzkräfte nach Übersicht über die Masse der Tunnelnutzer kann auf einfache Weise entsprochen werden, indem Sammelplätze an den Portalen der Tunnelröhren und Rettungsstollen eingezeichnet werden, an denen sich fliehende Nutzer einfinden sollen. Bei sehr langen Tunneln könnten für Personen, die aufgrund der langen Wegstrecke auf eine Fremdreitung angewiesen sind, in den Querschlägen flexible Sitzgelegenheiten (z.B. Klappbänke, die an den Wänden montiert sind, o.ä.) installiert werden. Diese Lösung ermöglicht es, dem menschlichen Verhalten im Ereignisfall zu entsprechen.

10.4.2 Ruheprinzip

Das Ruheprinzip wird nicht als bereits allseits bekanntes und gültiges Prinzip bestätigt. Es wird jedoch von den Teilnehmenden der drei Workshops mehrheitlich begrüsst. Die Experten in der Deutschschweiz sprechen sich klar für eine Einschränkung der Reize aus. Dies soll konkret mit einer Beschränkung auf das technisch Erforderliche (Minimalausstattung) umgesetzt werden. In der Westschweiz hingegen wird zwar ebenfalls eine Beschränkung auf das technisch Notwendige gefordert, der Einbezug zusätzlicher technischer Installationen zur Aktivierung der Nutzer in der frühen Phase des Tunnelbrandes wird jedoch als sinnvoll erachtet.

Aus verhaltenstheoretischer Sicht ist eine Reizüberflutung zu vermeiden. Es ist jedoch fraglich, ob eine solche in den ersten zehn Minuten nachdem ein Brand ausgelöst wurde im Tunnel gegeben ist. Gemäss Ereignisberichten besteht das Problem darin, dass Nutzer die Gefahrensituation nicht erkennen oder diese negieren. Es gilt daher, einen starken Impuls zur Aktivierung des Menschen zu setzen, damit dieser die Gefahr wahrnimmt, das Fahrzeug verlässt und sich zum nächsten Notausgang bewegt. Dies gilt auch dann, wenn Nutzer die Gefahr bereits erkannt haben. Menschen in Gefahrensituationen haben häufig eine geminderte Wahrnehmung (akustisch, visuell, sensorisch). Starke Signale, die möglichst mehrere Sinne ansprechen, sind daher auch hier erforderlich (vgl. Kapitel 6.2 und 6.5).

10.4.3 Liste der Anforderungen

Um Redundanzen zu vermeiden sollen hier lediglich die thematisierten strittigen Punkte angesprochen werden. Als Workshop-Resultate dargestellt werden die Ergebnisse der Diskussion wie sie unter Zustimmung der Workshop-Teilnehmenden am Ende eines jeweiligen Workshops auf den gemeinsam erarbeiteten Charts abgebildet waren. Die Ergebnisse aus den Workshops werden jeweils aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht bewertet.

Sperrung Tunneleinfahrt

- Radio-Rebroadcasting im Vorportalbereich (Input aus Workshop 2010)
- Rotlicht / Chrüzlistich (in modernen Strassentunnels realisiert)
- Barriere / Halbbarriere
- Wechseltextanzeige

Radio-Rebroadcasting ausserhalb des Tunnels wird von allen Workshop-Teilnehmenden als technisch nicht möglich eingestuft und daher abgelehnt. Eine physische Barriere wird von allen Teilnehmenden hingegen befürwortet. Konkret sollen Halbschranken versetzt vor dem Portal respektive im Anfahrtsbereich des Tunnels installiert werden. Ebenso erklären die Teilnehmenden der Workshops WTA/Multifunktionsanzeigen in der Anfahrtszone des Tunnels sowie optional im Abstand von 150-200m vor dem Tunnelportal für sinnvoll.

Um das Verhalten der Autofahrer vor dem Tunnel wirksam zu beeinflussen, ist aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht eine Kombination aus visueller, physischer und akustischer Informationsübermittlung sinnvoll. Die Installation von Halbbarrieren sowie Wechseltextanzeigen im Portalbereich (150-200 m) sowie in der Anfahrtszone (2-3 km) wird stark empfohlen. Eine akustische Information sollte zusätzlich über die Verkehrsmeldungen im Radio (aktuelle Durchsagen) gegeben werden.

Information der Nutzer im Tunnel

- Lautsprecher
- Radio-Rebroadcasting
- Anzeigetafeln
- Standardansagen

In den Workshops lehnt die Mehrheit der Praxisexperten Lautsprecher aufgrund der heute bestehenden technischen Limitationen ab (insbesondere Akustik), ist grundsätzlich jedoch aufgeschlossen gegenüber diesem Informationsmittel sofern in Zukunft technische Lösungen entwickelt werden, die ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen. Hinsichtlich Anzeigetafeln ergibt sich kein eindeutiges Bild. Die Experten der Romandie empfehlen die Installation von Anzeigetafeln mit der Information „Evakuierung“. Die Experten des Zürcher Workshops empfehlen den Einsatz von Tafeln mit der Information „Radio einschalten“. In beiden Fällen soll die Schaltung der Information an die Gefahrensituation im Tunnel gekoppelt werden.

Neu wurde in allen drei Workshops von jeweils einem Teilnehmenden der Vorschlag eingebracht, SMS-Prompter einzusetzen. Diese Massnahme wird sowohl von den Vertretern der Romandie als auch von den Teilnehmenden des Berner Workshops als sinnvoll erachtet, von den Teilnehmenden des Zürcher Workshops jedoch als unnötig abgelehnt (Radiodurchsagen seien ausreichend).

Mit Blick auf das Verhalten der Nutzer ist bei der Wahl der Kommunikationsmittel im Tunnel zu unterscheiden zwischen Massnahmen, die Nutzer in ihrem Fahrzeug dazu bewegen sollen dieses zu verlassen, und solchen die Nutzer ausserhalb ihres Fahrzeuges dazu bewegen sollen, die Notausgänge aufzusuchen.

Nutzer im Fahrzeug müssen aktiviert werden. Dazu muss zunächst eine dem Menschen eigene Negierung von negativen Signalen durchbrochen werden, damit diese erkennen, dass sie sich in einer Gefahrensituation befinden. Gleichzeitig muss vermittelt werden, dass das eigene Fahrzeug keine Sicherheit bietet. Sowohl das Bedürfnis über Hab und Gut zu wachen (Objektgebundenheit) als auch die innere Fokussierung auf das Reiseziel (Destinationsverbundenheit) müssen überwunden werden. Dazu ist eine mehrfache Bestätigung einer eindeutigen Information über verschiedene Kanäle und möglichst mehrere Sinne erforderlich (siehe Kapitel 6.2 und 6.5). Hier wird eine Prüfung der vorgeschlagenen SMS-Prompter (visuell) als Ergänzung zu Radio-Rebroadcasting (akustisch) empfohlen. So könnten auch Tunnelnutzer erreicht werden, die ihr Radio ausgeschaltet haben, aber ein Mobiltelefon besitzen. Die Installation von Wechseltextanzeigen mit dem Hinweis „Evakuierung“ und/oder „Feuer“ wird ebenfalls empfohlen zur Beeinflussung des Nutzerverhaltens. Diese Massnahme hätte Mobilisierungscharakter sowohl für Nutzer im Fahrzeug (Erstwahrnehmung oder bestätigende Redundanz zu Radio und/oder SMS) als auch für Nutzer, die ihr Fahrzeug bereits verlassen haben.

Sobald die Nutzer ihr Fahrzeug verlassen haben, sind sie auf sich gestellt. Handlungsanweisungen und Informationen über Radio, um Nutzer dazu zu bewegen die Notausgänge aufzusuchen, sind nicht mehr möglich. Ereignisberichte haben gezeigt, dass Nutzer nach Verlassen ihres Wagens sich häufig nicht unmittelbar zu den Notausgängen bewegen, sondern im Tunnel bleiben. Um das Verhalten der Nutzer zu beeinflussen muss ein weiterer Impuls gesetzt werden. Konkret bedarf es einer klaren und eindeutigen Handlungsaufforderung von Seiten Betreiber oder Polizei sowie einer Führung der Nutzer ab dem Moment, in dem sie das Auto verlassen, bis zu dem Moment, in dem sie sich endgültig in Sicherheit befinden. Diese Führung kann im Wesentlichen über die Kombination von akustischen und visuellen Signalen erfolgen. Konkret wird hier die Weiterentwicklung von Lautsprecheranlagen im Tunnel empfohlen sowie Tests zur Optimierung eines möglichen Zusammenspiels zwischen Ventilation (Lärm) und Lautsprecherdurchsagen.

Der Aktivierung der Nutzer im Fahrzeug kommt eine zentrale Rolle zu, wenn es darum geht die zur Evakuation benötigte Zeit zu verkürzen, und die Nutzer dazu zu bewegen vorhandene Sicherheitseinrichtungen zu nutzen. Dies sollte bei der Kosten-Nutzen-Abwägung zur Wahl der Massnahmen berücksichtigt werden.

Signalisation Fluchtweg

- Fluchtwegschilder hinterleuchtet
- Fluchtwegschilder auf beiden Fahrbahnseiten
- Entfernungangaben (in modernen Strassentunnels realisiert)
- Abstand 25 m (in modernen Strassentunnels realisiert)
- Dynamische Signalisation
- Sound Beacons „Exit Here“
- Handlauf

Eindeutig sprechen sich alle Experten in den Workshops für die bestehenden nachleuchtenden Fluchtwegschilder aus. Eine Hinterleuchtung der Schilder wird als nicht erforderlich erachtet, da die Tunnel jederzeit gut ausgeleuchtet seien. Fluchtwegschilder auf beiden Seiten werden ebenso als nicht erforderlich erachtet. Allenfalls kann optional ein Hinweis bei einer Notrufsäule angebracht werden.

Die dynamische Signalisation wird von den Deutschschweizer Experten abgelehnt. In der Romandie wird diese jedoch als sinnvoll erachtet, sofern sie an die Einstellung der Lüftung gekoppelt ist. Die haptische Signalisation in Form eines Handlaufs wird als nicht erforderlich für die Selbstrettung erachtet. Akustische Signalisation mit Sound Beacon wird tendenziell abgelehnt - von einer Gruppe wird diese ausgeschlossen, ein Gruppe würde diese unter Vorbehalt auf Eignung prüfen, eine Gruppe würde diese allenfalls installieren, jedoch zwingend mit dem Signalruf „Exit here“.

Die Frage, ob Fluchtwegschilder hinterleuchtet oder nachleuchtend sein sollen, ist eine Frage der Wahrnehmung. Die in der Schweiz eingesetzten nachleuchtenden Fluchtwegschilder wurden von einem Team der Universität Bern unter der Leitung von Marina Groner während der Tunnelbegehungen 2010 ausgemessen und für nicht salient befunden; das bedeutet, dass das menschliche Auge sehr lange braucht, um die Information auf den Schildern zu erkennen. Allerdings ist zu bedenken, dass in der Wartungssituation (siehe Tunnelbegehung) die Beleuchtung nicht auf 100 Prozent hochgefahren wurde wie dies in der Ereignissituation der Fall wäre. Es wurde kein direkter Vergleich mit hinterleuchteten Schildern durchgeführt. Fluchtwegschilder, die nicht salient sind, also nicht innert nützlicher Frist erkannt werden können, erfüllen ihren Zweck im Ereignisfall nicht. Es wird daher empfohlen, technische Möglichkeiten zu prüfen, die unter den Bedingungen in einem Tunnel nach heutigem Standard als salient eingestuft werden können.

Die Frage der Sichtbarkeit tangiert auch die Entscheidung, ob Fluchtwegschilder auf beiden Fahrbahnseiten vorhanden sein sollten. Sofern die Sichtbarkeit der Schilder von der gegenüberliegenden Seite gegeben ist, sind punktuelle Fluchtweghinweise auf die gegenüberliegende Seite, z.B. in SOS-Nischen, ausreichend. Bei mangelnder Saliens sind

Hinweisschilder auf beiden Seiten unerlässlich, wobei auf der Fahrbahnseite ohne Notausgänge jeweils auf Höhe der Ausgänge auf die gegenüberliegende Seite verwiesen werden muss.

Eine dynamische Signalisation könnte das Verhalten der Nutzer stark beeinflussen. Aufgrund der Problematik einer möglichen Fehlentscheidung (menschlicher Irrtum) bei der Steuerung dieser Signalisation, sollte die dynamische Funktion nur in besonderen Fällen und nach Massgabe spezifischer Kriterien betätigt werden. Dies könnte beispielsweise an die entsprechende Regelung zur Ventilation gekoppelt werden. Eine Betätigung würde folglich nur sehr selten erfolgen. Sofern funktionstüchtige Lautsprecher im Tunnel installiert sind, über die Handlungsanweisungen zum Fluchtweg erteilt werden, und saliente Fluchtwegschilder vorhanden sind, ist eine zusätzliche dynamische Signalisation nicht zwingend erforderlich.

Experimente mit akustischen Signalen wie Sound Beacons haben gezeigt, dass Nutzer sehr viel schneller evakuieren und die Notausgänge auch bei schlechter Sicht im Tunnel finden. Wie jüngere Experimente in Deutschland gezeigt haben (vgl. BMVBS 2011), kann über akustische Signale ein Impuls im Sinne eines Lockrufs gesetzt werden. Dies könnte eingesetzt werden, um die Aktivierung der Nutzer zu unterstützen. Sofern diese Signale auch bei laufender Ventilation ausreichend wahrnehmbar sind, empfehlen wir die Installation von Sound Beacons.

Der Einsatz eines Handlaufs hat keinen Einfluss darauf, ob Nutzer sich zu den Notausgängen begeben. Eine haptische Unterstützung des Fluchtwegs als solches besteht bereits durch die Tunnelwand. Die Installation eines Handlaufs wird daher nicht empfohlen.

Signalisation Notausgang

- Tür grün und beleuchtet (in modernen Strassentunnels realisiert)
- Blitzlicht (in modernen Strassentunnels realisiert)
- Markierung am Boden

Die Markierung am Boden wird aufgrund der Verschmutzung von den Teilnehmenden der Workshops als nicht umsetzbar betrachtet und gilt als nicht erforderlich. Auch aus verhaltenstheoretischer Sicht ist eine Markierung am Boden kein Erfordernis, um das menschliche Verhalten spürbar zu beeinflussen. Ob die Notausgänge genutzt werden, ist nicht abhängig von dieser Massnahme.

Gestaltung Notausgang

- Keine Treppe (in modernen Strassentunnels realisiert)
- Tür leicht zu öffnen, unverschlossen
- Türfunktion vgl. Gebäude

Alle Experten sprechen sich dafür aus, dass die Tür des Notausgangs in Fluchtrichtung öffnen sollte. Dabei sollen Kriterien definiert, jedoch keine konkreten technischen Lösungen vorgegeben werden.

Die Funktionsweise der Notausgangstüren muss den Nutzern vertraut oder zumindest selbsterklärend sein, damit diese die Ausgänge in der Gefahrensituation nutzen können. Eine Funktionsweise, die dem menschlichen Fluchtverhalten entspricht, ist die Öffnung in Fluchtrichtung (Richtung der Bewegung). Dies ist technisch mit einer Flügeltür gegeben. Aus dem Alltag ist den Tunnelnutzern jedoch auch der Mechanismus von Schiebetüren vertraut. Die Funktionsweise der Tür ist nicht wesentlich für die Entscheidung, ob die Flucht ergriffen wird, sondern ob der Fluchtversuch erfolgreich ist. Eine verschlossene oder schwer zu öffnende Tür beeinflusst das menschliche Verhalten dahingehend, dass die Nutzer nach alternativen Fluchtmöglichkeiten suchen und das Vertrauen in die übrigen Sicherheitseinrichtungen gemindert wird. Da keine der heute vorliegenden technischen Lösungen dem menschlichen Verhalten optimal entspricht, empfehlen wir, dem Wunsch der Praxisexperten nach einer Definition von Kriterien zu entsprechen, anstatt technische Lösungen vorzugeben.

Ausstattung Querschlag

als Fluchtweg zur Selbstrettung (Fluchtprinzip)

- Lautsprecher
- Fluchtwegschilder hinterleuchtet
- Notruftelefon (in modernen Strassentunnels realisiert)
- Beschilderung: „kein sicherer Ort“, „Exit“, „Achtung Verkehr“, „Nicht in Tunnel zurückkehren“ (in modernen Strassentunnels realisiert)

In den Workshops werden Lautsprecher von allen Gruppen als erforderlich angesehen. Von zwei Workshop-Gruppen werden die bestehenden nachleuchtenden Schilder als zweckmässig erachtet. Diesbezüglich sind sich die Experten einig, dass die Beleuchtung des Raumes sichergestellt sein muss, unabhängig von der technischen Lösung der Fluchtwegschilder.

Aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht gestaltet sich die Situation wie folgt: Analog zur Situation im Tunnel müssen Nutzer auch in den Nebenräumen des Tunnels geführt werden. Dazu sind Lautsprecher mit entsprechenden Durchsagen (Handlungsanweisungen als akustische Führung) erforderlich. Ebenso erforderlich sind saliente Fluchtwegschilder (visuelle Führung). Dabei ist die technische Lösung wenig erheblich. Massgeblich ist die Sichtbarkeit. Eine Beleuchtung des Querschlags kommt dem menschlichen Bedürfnis nach Helligkeit entgegen, Dunkelheit wird in der Regel negativ assoziiert und würde daher die Nutzung des Querschlags als Fluchtweg oder zum vorübergehenden Aufenthalt bremsen. In einem hell erleuchteten Querschlag nach heutiger Dimensionierung wären nachleuchtende Fluchtwegschilder ausreichend (kurze Distanz, geringe Verschmutzung).

Als Schutzraum / Aufenthaltsort (Aufenthaltsprinzip)

- helle Beleuchtung
- gerade, schallschluckende, schwarz gestrichene Zwischendecke
- Pastellfarbene Wände (Miller-Pink oder hellblau),
- Beschilderung/Infotafeln
- Lautsprecher zur permanenten Nutzerinformation
- Videoüberwachung
- Gegensprechanlage (oder vergleichbare Möglichkeit der Kommunikation Nutzer – Betreiber)
- Handyempfang
- Sitzgelegenheiten
- Trinkwasser
- Notfallkoffer
- Woldecken

Sowohl die Experten des Berner als auch des Lausanner Workshops erkennen die von Fachpsychologen zusammengestellten Minimalanforderungen als erforderlich an, sofern das Aufenthaltsprinzip gelten soll. Die Anforderungen sind technisch möglich. In Zukunft müssten demnach den Anforderungen entsprechende Sicherheitsbereiche im Tunnel konzipiert werden. Die Expertengruppe des Zürcher Workshops erkennt nur Teile der fachpsychologischen Anforderungen an. Grundsätzlich muss geklärt werden, ob und in welchen Fällen das Aufenthaltsprinzip gelten soll.

Die Etablierung des Aufenthaltsprinzips wird hier nicht empfohlen. Bei einem Bestand dieses Prinzips stellen die oben genannten Anforderungen mit Ausnahme des Notfallkoffers jedoch das Minimum an Massnahmen dar, um Nutzer zum längeren Verbleib im Querschlag zu bewegen (vgl. Anhang I.9).

Ausstattung Rettungstollen*bei Fluchtprinzip als Fluchtweg zur Selbstrettung*

- Lautsprecher
- Fluchtwegschilder hinterleuchtet
- Pfeile in Fluchtrichtung
- Entfernungsangaben
- Beleuchtung

Um das Verhalten der Nutzer wirksam zu beeinflussen, muss auch im Rettungstollen bei Bestand des Fluchtprinzips eine visuelle und akustische Führung der Nutzer nach draussen gegeben sein. Lautsprecher und sichtbare Fluchtwegschilder mit Entfernungsangaben in beide Richtungen, wie dies im Tunnel der Fall ist, sind hier empfohlen. Darüber hinaus muss die Beleuchtung des Stollen sowie der Schilder während der Fluchtsituation sichergestellt sein (vgl. Querschlag). Sind diese beiden Aspekte gegeben, braucht es keine zusätzlichen Pfeile in Fluchtrichtung.

bei Aufenthaltsprinzip

- Lautsprecher
- Fluchtwegschilder hinterleuchtet

Bei Bestand des Aufenthaltsprinzips sind Lautsprecher im Rettungstollen nicht erforderlich. Ebenso muss unter Berücksichtigung des Aufenthaltsprinzips der Rettungstollen nicht über Fluchtwegschilder, Richtungs- oder Distanzangaben verfügen.

Übersicht: Liste der Anforderungen im Vergleich

Anforderung	Literatur	Delphi-Studie Workshop 2010	Workshops 2011	Empfehlung
Sperrung Tunneleinfahrt				
Radio -Rebroadcasting im Vorportalbereich	k.A.	nein	nein	Ja
Rotlicht/Chrüzlistich	Ja	Ja	Ja	Ja
Barriere / Halbbarriere	Ja	Ja	Ja	Ja
Wechseltextanzeige	Ja	Ja	Ja	Ja
Information der Nutzer im Tunnel				
Lautsprecher	Ja	Nein	Nein (Technik/Ruhe)	Ja
Radio-Rebroadcasting	Ja	Ja	Ja	Ja
Anzeigetafeln	Ja	Ja	Nein / Ja (Evakuation, Radio ein)	Ja
Standardansagen	Ja	Ja	Ja	Ja
SMS-Prompter	k.A.	k.A.	Ja	Ja

Anforderung	Literatur	Delphi-Studie Workshop 2010	Workshops 2011	Empfehlung
Signalisation Fluchtweg				
Fluchtwegschilder hinterleuchtet	Ja	Ja (Delphi) Nein (Workshop)	Nein	Salienz prüfen
Fluchtwegschilder beidseitig	Ja	Ja	Nein	Ja
Entfernungsangaben	Ja	Ja	k.A.	Ja
Abstand 25m	Ja	Ja	k.A.	Ja
Dynamische Signalisation	Ja	Nein	Nein / bedingt	Ja / prüfen
Sound Beacons « Exit here »	Ja	Nein	Nein / bedingt	Ja / prüfen
Handlauf	Ja	Ja (Delphi) Nein (Workshop)	Nein	Nein
Signalisation Notausgang				
Tür grün und beleuchtet	Ja	Ja	k.A.	Ja
Blitzlicht	Ja	Ja	k.A.	Ja
Markierung am Boden	Ja	Nein	Nein	Nein
Gestaltung Notausgang				
Keine Treppe	Ja	Ja	k.A.	Ja
Tür leicht zu öffnen, unverschlossen	Ja	Ja	Ja	Ja
Türfunktion vgl. Gebäude	Ja (Flügel- tür)	Ja (Schiebetür)	Ja (Funktionskri- terien definieren)	Ja (Kriterien definieren)
Ausstattung Querschlag bei Anwendung Fluchtprinzip (als Fluchtweg zur Selbstrettung)				
Lautsprecher	Ja	Ja / Nein (Delphi) Ja (Workshop)	Ja	Ja
Fluchtwegschilder hinterleuchtet	k.A.	k.A.	Ja / Nein	nein
Notruftelefon	Ja	Ja	Ja	Ja
Beschilderung „kein sicherer Ort“...“ o.ä.	Ja	Ja	k.A.	Ja
Ausstattung Rettungsstollen bei Anwendung Fluchtprinzip (als Fluchtweg zur Selbstrettung)				
Lautsprecher	k.A.	k.A.	Ja	Ja
Fluchtwegschilder hinterleuchtet	k.A.	k.A.	k.A.	nein
Pfeile in Fluchtrichtung...	Ja	Ja	k.A.	Fluchtweg- schilder
Entfernungsangaben	Ja	Ja	k.A.	Ja
Beleuchtung	k.A.	k.A.	Ja	Ja
Ausstattung Querschlag bei Anwendung Aufenthaltsprinzip (als /Schutzraum / Aufenthaltsort)				
Helle Beleuchtung	k.A.	k.A.	Ja	Ja
Gerade, schallschluckende, schwarz gestrichene Zwischendecke	k.A.	k.A.	Bedingt / Nein	Ja
Pastellfarbene Wände	k.A.	k.A.	Ja / Nein	Ja
Beschilderung / Infotafeln	Ja	Ja	Ja	Ja
Lautsprecher zur permanenten Nut- zer-information	Ja	Ja	Ja	Ja

Anforderung	Literatur	Delphi-Studie Workshop 2010	Workshops 2011	Empfehlung
Videüberwachung	k.A.	k.A.	Ja	Ja
Gegensprechanlage (Kommunikationsmöglichkeit Nutzer - Betreiber)	Ja	Ja	Ja	Ja
Handyempfang	k.A.	k.A.	Ja / Nein	Ja
Sitzgelegenheiten	Ja	Nein	Ja / Nein	Ja
Trinkwasser	Ja	Nein	Ja / Nein	Ja
Notfallkoffer	k.A.	k.A.	Ja / Nein	Ja
Wolldecken	Ja	Nein	Ja / Nein	Ja
Ausstattung Rettungstollen bei Anwendung Aufenthaltsprinzip (kein Fluchtweg)				
Lautsprecher	k.A.	k.A. (Delphi)	Ja	nein
Fluchtwegschilder hinterleuchtet	k.A.	k.A.	k.A.	nein
Hinweis: Ja – die Mehrheit der Teilnehmenden befürwortet die Massnahme. Nein – die Mehrheit der Teilnehmenden lehnt die Massnahme ab oder hält diese für nicht zwingend erforderlich (optionale Massnahme). Ja/Nein – eine von drei Gruppen vertritt eine andere Meinung als die beiden anderen Gruppen. Bedingt – mind. eine von drei Gruppen erachtet die Massnahme als unter gewissen Umständen denkbar, aber nicht zwingend erforderlich. k.A. – dieser Punkt wurde nicht besprochen.				

Die Übersicht der Anforderungen im Vergleich zeigt, dass die Praxisexperten der Workshops 2011 zum grossen Teil die Aussagen von 2010 bestätigen. Auffallend ist, dass die Massnahmen in den Workshops häufig unter starker Beachtung von Kosten-Nutzen bzw. Aufwand (Installation, Betrieb, Wartung) und Mehrwert für die Sicherheit der Nutzer im Ereignisfall betrachtet wurden. Im Mittelpunkt stand eher die Frage, ob eine Massnahme zwingend erforderlich ist, als ob diese schädlich sein könnte. Dies zeigt sich auch in der konstruktiven Diskussion einfacher und robuster praktischer Lösungen, mit denen Anforderungen aus der Literatur erfüllt werden könnten. Beispiele dafür sind die Vorschläge zu Anzeigetafeln im Tunnel mit der Information „Evakuierung“ oder „Radio einschalten“ sowie die allgemeine Empfehlung, lediglich Funktionskriterien bei den Notausgängen zu definieren anstatt konkrete technische Lösungen vorzugeben.

Die Empfehlungen orientieren sich an dem Beitrag zur Beeinflussung des Nutzerverhaltens, den eine technische Massnahme leisten kann sowie an der Dringlichkeit das menschliche Verhalten im Ereignisfall beeinflussen zu müssen. Bei der Erarbeitung der Empfehlungen wurden Anregungen und Praxiserfahrungen aus den Workshops einbezogen.

Die hier empfohlenen Massnahmen sollten im Sinne der Erforderlichkeit und Finanzierbarkeit als nächstes ASTRA intern auf der Basis geltender Budgets genauer angeschaut und abschliessend diskutiert werden. Hinsichtlich der Berücksichtigung der Massnahmen in Normen sind im Kapitel 11.1 entsprechende Ausführungen zu finden.

11 Synthese

11.1 Auswirkungen auf die Normen (Empfehlungen)

Sperrung Tunneleinfahrt

Die Sperrung über Rotlicht/Chrzülistich ist Standard in der Schweiz. Um Autofahrer davon abzuhalten, trotz Rotlicht in den Tunnel einzufahren, sollten Halbbarrieren obligatorisch vorgeschrieben werden. Deren Funktionsweise sollte aus Sicherheitsgründen an die Verkehrslenkung, nicht an die Tunnelsperrung (Rotlicht) gekoppelt werden. Ebenso sollten WTA vor der letzten Ausfahrt von der Autobahn obligatorisch sein. Als Option werden zusätzliche WTA in der Anfahrtszone des Tunnels (150-200m oder weiter) empfohlen.

Sollte das ASTRA diesen Empfehlungen folgen, dann müssten die entsprechenden Normen geändert werden. Relevante Normen sind:

- SIA-Norm
- Signalisationsverordnung SSV
- ASTRA-RL Verkehrsmanagement
- ASTRA-RL Wechseltextanzeigen

Die SIA-Norm verweist auf die Signalisationsverordnung SSV. Die Signalisationsverordnung SSV erlaubt Barrieren und Informationstafeln, schreibt diese jedoch nicht als obligatorisch vor. Die ASTRA-RL Verkehrsmanagement schreibt keine WTA vor dem Tunnelportal vor, verweist indes auf die ASTRA-RL Wechseltextanzeigen. Die ASTRA-RL Wechseltextanzeigen sieht WTA unmittelbar vor dem Tunnel vor (vgl. Anhang I.5 Auswertung Richtlinien Tunnelausstattung).

Information der Nutzer im Tunnel

Die Information der Nutzer über Radio mithilfe von Radio-Rebroadcasting ist Standard in der Schweiz. Zusätzlich sollten Lautsprecher, die zum Einsatz in Strassentunneln geeignet sind, eingesetzt werden. Ebenso sollten Anzeigetafeln mit der Information „Evakuati-on/Feuer“ im Tunnel installiert werden. Die Schaltung der Information auf den Anzeigetafeln sollte an die Gefahrensituation im Tunnel gekoppelt werden. Darüber hinaus sollte der Einsatz von SMS-Promptern als zusätzliche Massnahme geprüft und in die entsprechende Norm aufgenommen werden.

Sollten diese Empfehlungen in das Schweizer Normenwerk aufgenommen werden, so wären folgende Normen davon betroffen:

- SIA 197/2
- ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln
- ASTRA-RL Funksysteme in Strassentunneln
- Signalisationsverordnung SSV

Die genannten Normen sehen keine entsprechenden Anzeigetafeln in Tunneln vor. Die Vorgaben fokussieren auf die technischen Möglichkeiten zur Information der Nutzer über Radio. Die Signalisationsverordnung SSV spezifiziert darüber hinaus, dass Hinweisschilder zu Radiofrequenzen („Radio-Verkehrsinformation“) auf Autobahnen nur aufgestellt werden, wo der Frequenzbereich wechselt, vor langen Tunneln oder im Bereich der Landesgrenze (vgl. Anhang I.5 Auswertung Richtlinien Tunnelausstattung). Ebenso sind keine Lautsprecher in den Normen vorgesehen.

Signalisation Fluchtweg

Die Signalisation des Fluchtwegs mit hinterleuchteten oder nachleuchtenden Schildern ist auf Salienz im Ereignisfall zu prüfen. Es sollten lediglich technische Lösungen gemäss Norm eingesetzt werden können, die das Kriterium der Salienz erfüllen. In Abhängigkeit von der Sichtbarkeit der vorgeschriebenen Fluchtwegschilder ist eine Installation auf beiden Fahrbahnseiten vorzusehen. Eine dynamische Signalisation sollte als optionale

Massnahme in das Normenwerk aufgenommen werden, sofern ihre Aktivierung an klar definierte Kriterien und Prozesse gekoppelt ist (vgl. Ventilation). Eine akustische Signalisation über Sound Beacons sollte vorgeschrieben werden für den Fall, dass eine Installation salienter Fluchtwegschilder nicht sichergestellt werden kann. Darüber hinaus sollten Sound Beacons als optionale Massnahme ermöglicht werden.

Sollten diese Empfehlungen in das Schweizer Normenwerk aufgenommen werden, so wären folgende Normen davon betroffen:

- SIA 197/2
- ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln
- Signalisationsverordnung SSV

Die Normen sehen die Installation nachleuchtender Fluchtwegschilder auf einer Fahrbahnseite vor. Über die Saliens der vorgeschriebenen Leuchtdichte wird keine Aussage gemacht. Eine dynamische Signalisation ist ebenso wenig vorgesehen wie die Einrichtung von Sound Beacons.

Signalisation Notausgang

Die Signalisation der Notausgänge ist unstrittig bis auf die in der Literatur geforderte Markierung am Boden. Diese wird als nicht erforderlich erachtet. Die Schweizer Normen erfüllen damit die Anforderungen bereits.

Gestaltung Notausgang

Die Tür sollte sich im Ereignisfall leicht öffnen lassen. Ihre Funktionsweise soll den Nutzern aus anderen Lebenssituationen vertraut sein (Flügeltür, Schiebetür). Mit Blick auf mögliche technische Weiterentwicklungen verschiedener Türsysteme sollten Anforderungskriterien an die Funktionsweise von Türen definiert, jedoch keine konkreten technischen Lösungen vorgeschrieben werden. Technische Lösungen, die diese Kriterien erfüllen und sich in Fluchtrichtung öffnen lassen, sollten bevorzugt werden.

Um dieser Empfehlung zu entsprechen, müssten folgende Normen angepasst werden:

- SIA 197/2
- ASTRA-Richtlinie Türen und Tore

Die ASTRA-Richtlinie Türen und Tore sieht Schiebetüren vor. Es sind bereits Anforderungskriterien an die Funktionsweise spezifiziert. Eine Anpassung der Norm an die Empfehlung könnte erreicht werden, indem die Aussagen zu Schiebetüren gestrichen und durch einen Passus ersetzt werden, der jede technische Lösung erlaubt, die den definierten Anforderungskriterien entspricht. Gegebenenfalls wäre zu prüfen, ob die Anforderungskriterien weiter zu spezifizieren bzw. zu ergänzen sind (vgl. Anhang I.5 Auswertung Richtlinien Tunnelausstattung).

Ausstattung Querschlag

Die Anforderungen an die Ausstattung des Querschlags sind abhängig von den Prinzipien, die im Ereignisfall gelten sollen. Massgeblich ist dabei die Frage, ob das Aufenthaltsprinzip oder das Fluchtprinzip gilt. Ob und für welche Tunnel das Aufenthaltsprinzip gelten soll, muss geklärt werden. Hierfür sollten einheitliche Kriterien festgelegt werden. Aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht wird das der Selbstrettung zugrunde liegende Fluchtprinzip empfohlen (vgl. Kapitel 10.5.4).

bei Anwendung Fluchtprinzip

Der Querschlag muss einen eindeutigen Aufforderungscharakter als Fluchtweg haben: Lautsprecher, Notruftelefon, Informationstafeln „kein sicherer Ort, bitte verlassen“, „Exit“-sowie „Achtung Verkehr“-Hinweise auf den Türen.

Relevante Normen:

- SIA 197/2
- ASTRA-Richtlinie Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln
- ASTRA-Richtlinie Türen und Tore
- ASTRA-Richtlinie Verkehrsmanagement
- ASTRA-Richtlinie Notruftelefonanlagen

Die ASTRA-Richtlinie Notruftelefonanlagen verordnet die Einrichtung von Freisprechanlagen in Querverbindungen, die als Fluchträume oder Fluchtwege dienen. Die ASTRA-Richtlinie Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln schreibt die Installation von Tafeln mit dem Hinweis „Achtung Verkehr“ vor für Türen oder Fluchtwege, die direkt in einen Fahrraum führen. Über die weiteren Anforderungen finden sich in den genannten Normen keine Angaben (vgl. Anhang I.5 Auswertung Richtlinien Tunnelausstattung).

bei Anwendung Aufenthaltsprinzip

Der Querschlag muss einen eindeutigen Aufforderungscharakter als Aufenthaltsort haben, um die Nutzer zum Verbleib zu bewegen: helle Beleuchtung; gerade, schallschluckende, schwarz gestrichene Zwischendecke, Sitzgelegenheiten, pastellfarbene Wände (Miller-Pink oder hellblau), Beschilderung/Infotafeln, Lautsprecher über die Nutzer permanent informiert werden über die Situation im Tunnel, Videoüberwachung, Handyempfang, Gegensprechanlage (oder vergleichbare Möglichkeit der Kommunikation Nutzer – Betreiber), Trinkwasser, Notfallkoffer, Woldecken.

Relevante Normen:

- SIA 197/2
- ASTRA-Richtlinie Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln
- ASTRA-Richtlinie Notruftelefonanlagen

SIA 197/2 schreibt eine Beleuchtung des Querschlags vor. Die ASTRA-Richtlinie Notruftelefonanlagen verordnet die Einrichtung von Freisprechanlagen in Querverbindungen, die als Fluchträume oder Fluchtwege dienen. In den weiteren Richtlinien finden sich keine Angaben zur Ausstattung von Querschlägen gemäss oben genannten Anforderungen (vgl. Anhang I.5 Auswertung Richtlinien Tunnelausstattung). Durch die Normierungsstelle ist abzuklären, in welchen Normen die Anforderungen bei Aufenthaltsprinzip abgebildet werden müssten.

Ausstattung Rettungstollen

Ebenso wie beim Querschlag sind die Anforderungen an die Ausstattung des Rettungstollens abhängig davon, ob das Aufenthaltsprinzip oder das Fluchtprinzip im Tunnel gelten soll. Es muss grundsätzlich geklärt werden, welches Prinzip gelten soll bevor eine Klärung auf Normenebene erfolgt. Aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht wird das der Selbstrettung zugrunde liegende Fluchtprinzip empfohlen (vgl. Kapitel 10.5.4).

bei Anwendung Fluchtprinzip

Die Führung der Nutzer im Rettungstollen ist wichtig. Dazu müssen die Beleuchtung sichergestellt sowie Lautsprecher installiert werden. Ebenso sollten Fluchtwegschilder mit Entfernungsangaben analog zu den im Tunnel eingesetzten Schildern eingesetzt werden.

Relevante Normen:

- SIA 197/2
- ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln

SIA 197/2 schreibt eine Beleuchtung des Rettungstollens vor. Die ASTRA-Richtlinie Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln enthält Vorgaben zur Installation von Markierungen im Rettungstollen, um Nutzer nach draussen zu leiten. Hier wäre eine Spezifizierung hin zu Fluchtwegschildern mit Entfernungsangaben empfehlenswert. Eine Normanpassung wäre insbesondere erforderlich punkto Lautsprecher (vgl. Anhang I.5 Auswertung Richtlinien Tunnelausstattung).

bei Anwendung Aufenthaltsprinzip

Wichtig ist, die Beleuchtung sicherzustellen. Lautsprecher, Pfeile in Fluchtrichtung sowie Entfernungsangaben bis zum Ausgang sind bei Gültigkeit des Aufenthaltsprinzips nicht erforderlich.

Relevante Normen:

- SIA 197/2
- ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln

SIA 197/2 schreibt eine Beleuchtung des Rettungstollens vor. Es ist demnach keine Normanpassung erforderlich (vgl. Anhang I.5 Auswertung Richtlinien Tunnelausstattung).

11.2 Forschungslücken

Folgende Forschungslücken wurden im Rahmen der Untersuchung identifiziert:

Verhalten von Einsatzkräften, Betriebsleitzentrale und Verkehrsleitzentrale im Ereignisfall

Über das konkrete Verhalten von Betreiber, Verkehrsleitzentrale und Einsatzkräften im Ereignisfall wurde bisher nur wenig publiziert (wenig über konkrete Ereignisse, nichts aus Übungen/Simulationen): Wie arbeiten die Beteiligten zusammen? Wie kommunizieren sie? Wo und warum geht Zeit verloren? Welche Mängel treten auf? Wie könnten diese behoben werden? Welche Bedürfnisse haben die Beteiligten? Wann treffen die Einsatzkräfte ein? Sind sie gut ausgestattet? Wissen sie, wie sie sich im Tunnel zu verhalten haben? etc.

Es gibt auch wenig Informationen dazu, wie ein optimales Notfall- bzw. Einsatzprogramm praktisch aussieht. Wie können Abläufe vereinfacht werden? Ist das automatische Auslösen von Standardaktionen (immer) eine gute Lösung? Wie sieht ein optimales Trainingsprogramm aus, das sich bewährt hat? Was ist state-of-the-art für Tunnelbetreiber, Verkehrsleitzentralen und Einsatzkräfte?

Das richtige Verhalten der Nutzer

Es gibt unterschiedliche und zum Teil widersprüchliche Anweisungen verschiedener Absender, wie sich Nutzer im Falle eines Ereignisses verhalten sollen. Die Empfehlungen sind zudem stark situationsabhängig und deshalb sehr komplex und schwierig zu erinnern (vor Einfahrt in Tunnel, Normalsituation, Stau, Panne, Brand etc.).

Es wird dringend ein Expertenkonsens über das richtige Verhalten benötigt. Daraus muss eine einfache Anweisung ohne Zielkonflikte formuliert werden, die leicht zu erinnern ist.

Themen, die zu berücksichtigen sind:

- Welche Rolle spielen die SOS-Nische und der Feuerlöscher in den Handlungsempfehlungen für Verkehrsteilnehmer? Welche Bedeutung haben sie bei einem kleinen Zwischenfall? Welchen Nutzen (oder welchen Nachteil) bieten sie bei einem Inferno? Welche Bedeutung haben SOS-Nischen, die nicht in unmittelbarer Nähe eines Notausgangs liegen? Können sie den Nutzer dazu verleiten, in eine falsche Richtung zu laufen? Sollten SOS-Nischen deshalb nur in der Nähe eines Notausgangs angebracht werden?
- In welchen Fällen sollten die Nutzer selbst zum Feuerlöscher greifen? Nach welchen Kriterien sollten sie entscheiden? Abwägungen verkomplizieren die Handlungsanweisungen.
- In einigen Ereignissen konnten sich Nutzer nur durch Wenden retten. Wie geht man damit um?
- Heute verfügt nahezu jeder Verkehrsteilnehmer über ein Mobiltelefon. Es kommt den Nutzern sehr entgegen, nicht mehr zur SOS-Säule gehen zu müssen, sondern direkt vom Mobiltelefon aus einen Alarm auszulösen. Wie wird das Mobiltelefon in das Notfallkonzept integriert? Was sind die Vor- und Nachteile? Wie soll mit dem Widerspruch zwischen Nutzung des Mobiltelefons am Steuer und rascher, nahezu flächendeckender Alarmierung umgegangen werden?

Wirksamkeit von Schulung der Nutzer

In vielen Berichten wird gefordert, die Verkehrsteilnehmer im Fahrunterricht und durch Kampagnen auf die Ereignissituation im Tunnel vorzubereiten. Bisher gibt es aber noch keine veröffentlichte Studie, die derartige Massnahmen evaluiert und ihre Wirksamkeit zeigt. Zu bedenken sind folgende Punkte:

- Ein Grossereignis im Tunnel ist extrem selten. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Verkehrsteilnehmer jemals in eine solche Situation gerät, ist äusserst gering. Aus der Werbewirkungsforschung weiss man, dass Menschen nur Informationen aktiv verarbeiten, wenn sie durch ihre eigenen Bedürfnisse dazu motiviert sind. Wie wirksam können Kampagnen vor diesem Hintergrund sein?
- Wissen, das einmalig (theoretisch) gelernt und nie benötigt wurde, bleibt nicht hängen. Fahrschüler müssen einen Erste-Hilfe-Kurs belegen. Dennoch weiss die Mehrzahl nach einigen Jahren nicht mehr, was sie zu tun hat und nur wenige wagen es im Ereignisfall selbst aktiv zu werden. Wenn richtiges Verhalten im Tunnel routinemässig verinnerlicht werden sollte, bräuchte es ständiges praktisches Training. Wie realistisch ist eine solche Massnahme angesichts der geringen Eintretenswahrscheinlichkeit und angesichts der grossen Heterogenität der Verkehrsteilnehmer?
- Experimente zeigen, dass selbst Menschen, die theoretisch wissen, wie man sich zu verhalten hat, sich nicht wesentlich anders verhalten als Unwissende. Auch sie verharrten im Auto bis der Betreiber sie auffordert, den Tunnel zu verlassen. Vorwissen hat in der konkreten Situation offenbar nur bedingt eine Wirkung.

Informationen für Nutzer

Welche konkreten Informationen sollten dem Nutzer in der Ereignissituation gegeben werden? Welche Informationen beschleunigen die Evakuierung? Welche Information führt zum besten Verhalten? Wann wird welche Information benötigt?

- Balance zwischen Alarmierung und Panik auslösen. Information muss die Gefahr deutlich machen. Auch "gefährliche" Information ("explosion hazard") hat im Experiment zu einer geordneten Evakuierung geführt. Ist dies im Ernstfall auch so?
- So wenig Information wie möglich, so viel wie nötig! Was bedeutet das konkret? Eine einfache und klare Anweisung beschleunigt die Evakuierung, umgekehrt kann ein Mehr an Information verhindern, dass Leute in den Tunnel zurückgehen oder dafür sorgen, dass sie andere Personen aktivieren.
- Wie viel Information ist in 3-4 Sprachen verträglich? (Zeitdauer der Durchsage, Erinnerungbarkeit mehrerer gleichzeitig abgegebener Anweisungen)
- Ist der Betreiber mit verschiedenen vorgefertigten Ansagen überfordert?
- Neue Kommunikationsmittel: Wie reagieren Nutzer darauf, wenn die Alarmierung über ihr Navigationssystem erfolgt?

Signalisation

Das Verhalten der Nutzer im Ereignisfall ist inzwischen recht gut untersucht, wenig ist dagegen bekannt über ihre Interaktion mit der Signalisation im Tunnel. Welche Signalisationssysteme sind in der konkreten Tunnelsituation am wirksamsten? Hier fehlen noch empirische Beweise.

- Wie gut werden Notausgänge bei der Durchfahrt wahrgenommen? Welchen Zeitgewinn bewirkt eine flexible Fluchtwegsignalisation? Aus welcher Entfernung sind nachleuchtende Schilder sichtbar, aus welcher Entfernung identifizierbar? Wie gut sind sie bei Rauch sichtbar? Wie gut wirken Blitzlichter?
- Wie gut funktionieren Handläufe im Strassentunnel (in Eisenbahntunnels haben sie sich als hilfreich erwiesen)? Welche Art der haptischen Führung funktioniert am besten?
- Wie gross sollten die Schilder sein? Auf welcher Höhe sollten Schilder angebracht werden? Manche Autoren empfehlen auf dem Boden. Hat das eine Wirkung?
- Wie gut funktionieren Sound Beacons und Lautsprecherdurchsagen miteinander? Werden Systeme benötigt, die die Sound Beacons unterbinden, wenn eine Lautsprecherdurchsage gemacht wird? Wie ist die Gesamtwirkung in der akustisch harten Umgebung eines Tunnels?
- Wie werden die Nutzer in der zweiten Tunnelröhre empfangen? Ist das Vorwarnschild (Achtung Verkehr) ausreichend? Wie kann sichergestellt werden, dass Nutzer nicht erschrecken und zurückgehen? Wie werden Nutzer in der zweiten Tunnelröhre geleitet?

Tests Gesamtsystem

Die bisherigen Tunnelexperimente testeten vor allem Einzelkomponenten wie z.B. die Wirkung der Betreiberinformation oder Sound Beacons. Das Gesamtsystem aus visueller, akustischer und haptischer Führung wurde bisher noch nicht getestet (vom Auto bis zu dem Punkt, an dem die Fliehenden in Sicherheit sind).

Um das Sicherheitsniveau des Gesamtsystems zu evaluieren, müssen die Abhängigkeiten berücksichtigt werden: Wie lange braucht der Betreiber, um Alarm auszulösen? Wie viel Zeit verbleibt damit den Verkehrsteilnehmern nach der Alarmierung für die Flucht? Darauf basierend: Wie weit dürfen die Notausgänge auseinander liegen, damit auch ältere Verkehrsteilnehmer eine realistische Chance haben? Oder umgekehrt: Wenn die Notausgänge 300 m auseinander liegen, wie schnell muss der Betreiber die Nutzer alarmiert haben? Wie beeinflussen sich die einzelnen Signale gegenseitig?

Ableitend aus den Empfehlungen der Literatur und den Empfehlungen der Praxisexperten sollten Experimente mit zwei unterschiedlichen Settings durchgeführt werden: Wie stark unterscheiden sich die Evakuationszeiten zwischen dem Setting "Anforderungen aus der Literatur" und dem Setting "Anforderungen gemäss Praxisexperten"? Wie reagieren die Nutzer auf die unterschiedlichen Settings?

Löschsysteme

Es ist noch unklar, welche Folgen fest installierte Löschsysteme auf die Selbstrettung bei einem Extremereignis haben: Stören sie die Rauchsichtung? Verschlechtern sie die Sicht nachhaltig oder lediglich kurzfristig? Bleiben die Verkehrsteilnehmer noch länger im Auto sitzen, da die Umwelt im Tunnel noch unwirtlicher wird oder weil sie sich noch sicherer fühlen, da das Feuer ja schon gelöscht wird? Wie sind die Erfahrungen in Ländern, in denen diese Systeme seit Jahren eingesetzt werden? Sind diese Erfahrungen auf die Situation in der Schweiz übertragbar?

11.3 Empfehlungen für die Umsetzung

11.3.1 Prinzipien: Aufenthalt und Flucht

Grundlegend sollte zunächst ASTRA intern geklärt werden, wie mit den beiden Prinzipien, Aufenthaltsprinzip und Fluchtprinzip, umgegangen werden soll.

Aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht empfiehlt sich die konsequente Beibehaltung des Fluchtprinzips, das der Selbstrettung zugrunde liegt. Bei besonders langen Tunneln können für Personen, die aufgrund der Wegstrecken zum Tunnelausgang auf eine Fremdrettung angewiesen sind, flexible Sitzgelegenheiten in den Querschlägen installiert werden. Den Bedürfnissen der Einsatzkräfte nach einer besseren Übersicht über die Anzahl der Nutzer im Tunnel kann mit bereits erprobten Besammlungspunkten an den Portalen der Rettungsstollen respektive in und ausserhalb der „gesunden“ zweiten Tunnelröhre entsprochen werden.

Gemäss den Empfehlungen der Praxisexperten sollten jedoch beide Prinzipien in Schweizer Tunneln zur Anwendung kommen können. Demnach sollten Kriterien erarbeitet werden, in welchen Tunneln welches Prinzip gelten soll und wie dies für den Nutzer im Tunnel deutlich wird.

Wir empfehlen, dieses Thema aufzugreifen und intern in Zusammenarbeit mit der für die Koordination der Gebietseinheiten zuständigen Stelle zu klären. Die Ergebnisse der Klärung – Fluchtprinzip oder Aufenthaltsprinzip - sollten in einen Prozess zur Anpassung der Normen integriert werden. Die Normierungsstelle sollte darüber befinden, in welchen Normen die entsprechenden Anforderungen an die Tunnelausstattung abgebildet werden sollen.

11.3.2 Normen: Integration der Ergebnisse

Die Entscheidung, ob die Normen entsprechend den Empfehlungen der Praxisexperten überarbeitet werden sollen, obliegt dem ASTRA. Sollte das ASTRA diesen Empfehlungen folgen wollen, so ist ein Auftrag an die Normierungsstelle erforderlich. In diesem Fall schlagen wir vor, die Ergebnisse des Forschungsprojektes vor der Normierungsstelle durch Vertreter des Projektteams persönlich vorstellen zu lassen. Dies ermöglicht unmittelbare Rückfragen sowie die schnelle Vermittlung eines grundlegenden Verständnisses der Materie „menschliches Verhalten und Tunnelsicherheit“.

11.3.3 Wissen: Transfer in die Praxis

Die Diskussionen und rege Beteiligung an den Workshops (Phase 2) sowie an der Delphi-Studie (Phase 1) spiegelt das Interesse der Praxisvertreter am Thema. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass nur wenige Interessierte sich die Zeit nehmen, um den Schlussbericht eines Forschungsprojektes zu konsultieren. Wir empfehlen daher, die Ergebnisse des Projektes sowie allfällige Normenänderungen passend für die Zielgruppen aufzubereiten und in entsprechenden Fachorganen zu publizieren. Dazu können die bestehenden Kanäle des ASTRA genutzt werden. Darüber hinaus sind Präsentationen und Diskussionen an Fachtagungen mit Zielpublikum Betreiber, Polizei, Feuerwehr empfehlenswert. Diese sollten aktiv bei den verschiedenen Organisatoren solcher Plattformen angeboten werden.

11.3.4 Verhalten: Massnahmen auf Ebene der Nutzer

Förderung der Radionutzung

Die Ergebnisse zeigen eine starke Fokussierung auf das Medium Radio zur Information der Nutzer über die Gefahrensituation. Dies wird sowohl in der Literatur als auch von einigen Praxisexperten als problematisch beurteilt, da eine Vielzahl an Autofahrern im Tunnel (sowie auf offener Strecke) kein Radio hört.

Die starke Abhängigkeit der Nutzerinformation vom Medium Radio – insbesondere in der Aktivierungsphase – wird sich erst langfristig ändern, sofern den in diesem Bericht spezifizierten Empfehlungen für eine Normanpassung gefolgt wird, oder wird gleich bleiben im Fall eines Status Quo der Normvorgaben. Wir empfehlen daher, ein Konzept auszuarbeiten, wie die Radionutzung in Strassentunneln bei Automobilisten bereits kurz- bis mittelfristig, d.h. in den kommenden 1-3 Jahren, gefördert werden kann.

Schulung von Berufskraftfahrern

Um Nutzer zur Flucht aus dem Tunnel zu aktivieren ist eine kritisch Masse von rund 10 Prozent der Nutzer mit dem richtigen Verhaltensimpuls erforderlich (vgl. Kapitel 6.2 und 6.5). Einer der Einflussfaktoren für das Nutzerverhalten im Tunnel ist deren Vorwissen.

Für die Allgemeinheit der Automobilisten ist ein solches Vorwissen aufgrund der relativen Seltenheit einer Tunneldurchfahrt und einer um ein Vielfaches höheren Seltenheit eines Ereignisses im Tunnel mit vertretbaren Mitteln nicht erreichbar. Möglich jedoch ist es, ein solches Vorwissen bei Berufsfahrern zu generieren. So bietet es sich beispielsweise an, ein spezielles Fahrschultraining für Berufsfahrer durchzuführen, die oft längere Tunnelstrecken durchfahren. Ein eben solches Projekt mit Mitarbeitenden grösserer Speditionen im Einzugsgebiet eines Tunnels wurde im Rahmen des französischen Forschungsprojektes ACTEURS durchgeführt.

Unter dem Vorbehalt, dass in Frankreich positive Ergebnisse mit diesem Vorgehen erzielt wurden, schlagen wir vor – parallel zu einem Projekt zur stärkeren Radionutzung im Tunnel - die Durchführung eines Pilotprojektes zur Schulung von Berufskraftfahrern in der Schweiz zu prüfen (Vorstudie).

Anhänge

I.1	Psycho-soziologisches Modell der Tunnelevakuatation (Noizet 2004)	104
I.2	Nutzerverhalten und mögliche Massnahmen.....	110
I.3	Betreiberverhalten und mögliche Massnahmen	114
I.4	Verhalten der Rettungskräfte und mögliche Massnahmen	115
I.5	Auswertung Richtlinien Tunnelausstattung.....	117
I.6	Auswertung Richtlinien Organisation, Prozesse, Wissen	129
I.7	Empfehlungen für Nutzer - Vergleich.....	137
I.8	Tunnelsicherheit und menschliches Verhalten Checkliste Tunnelbegehung	147
I.9	Workshops mit Praxisexperten 2011	152

I.1 Psycho-soziologisches Modell der Tunnelevakuation (Noizet 2004)

Das verwendete theoretische Modell wird bestätigt durch die Ergebnisse des ACTEURS-Projekts. Stark gewichtet wird hier der Aspekt der Objektgebundenheit.		
Phase 0: Ereignis wird ausgelöst		
Aktivität Nutzer	Faktoren, die Evakuation begünstigen	Faktoren, die Evakuation verlangsamen
Hauptaktivitäten, die mit dem Aufenthalt im Tunnel verbunden sind + Parallelaktivitäten (Radio hören, Austausch mit Mitreisenden, etc.) + Persönliche Beschäftigungen	<i>Nutzer</i> <ul style="list-style-type: none"> • Kenntnis Tunnel und seiner Ausstattung • Kenntnis Lösungen zur Evakuation aus Tunnel • Kenntnis zu beachtender Verhaltensweisen • Erfahrung mit Krisensituation (z.B. ehemaliger Feuerwehrmann) 	<i>Nutzer</i> <ul style="list-style-type: none"> • Bedeutung Beschäftigungen oder Parallelaktivitäten • Eingeschränkte Aufmerksamkeit • Eingeschränkte Mobilität • Unter Einfluss von Medikamenten, Alkohol, Drogen • Starke Bindung (affektiv, Verantwortung) an Auto und/oder dessen Ladung
Kein Stress (ausser ggf. Durchfahren eines Tunnels)	<i>Tunnel</i> <ul style="list-style-type: none"> • System der Überwachung und Detektion von Ereignissen • Existenz Einsatzplan • Qualität der Betriebsweise • Personaltraining 	<i>Tunnel</i> <ul style="list-style-type: none"> • Fehlen von Evakuations- und Sicherheitsvorkehrungen • Technisches Versagen
	<i>Kontext</i> <ul style="list-style-type: none"> • Nähe zum Ereignis • Anwesenheit von ausgebildetem Betriebspersonal 	<i>Kontext</i> <ul style="list-style-type: none"> • Distanz zum Ereignis • Unmittelbare Schwere des Ereignisses • Dynamik der Expansion der Ereignisfolgen (z.B. Rauch)

Phase 1: Wahrnehmen und Erkennen der Warnsignale		
Aktivität Nutzer	Faktoren, die Evakuation begünstigen	Faktoren, die Evakuation verlangsamen
Hauptaktivitäten, die mit dem Aufenthalt im Tunnel verbunden sind + Parallelaktivitäten (Radio hören, Austausch mit Mitreisenden, etc.) + Persönliche Beschäftigungen + Wahrnehmung der Warnsignale/-zeichen, die unmittelbar oder mittelbar vom Ereignis ausgehen + Reduktion der Zweideutigkeit, die von den Signalen/Anzeigen ausgehen (Wecken Alarmierungszustands durch Anerkennen der Signale/Anzeichen als Zeichen der Gefahr) Bedeutendes/hohes Stress-Niveau (Peak)	<i>Nutzer</i> <ul style="list-style-type: none"> • Kenntnis Tunnel und Alarmsystem • Erfahrung mit Krisensituation (z.B. ehemaliger Feuerwehrmann) • Ängstlichkeit bezüglich Tunneldurchfahrt • Aspekt der Gruppenkonformität • Stress-Niveau 	<i>Nutzer</i> <ul style="list-style-type: none"> • Bedeutung der Beschäftigungen • Vertiefung/Engagement in Hauptaktivität oder Parallelaktivität (Aspekt der Bestätigung) • Eingeschränkte Aufmerksamkeit • Beeinträchtigte Wahrnehmung (visuell, auditiv) • Gewohnheit an falschen Alarm • Aspekt der Gruppenkonformität • Stress-Niveau
	<i>Tunnel</i> <ul style="list-style-type: none"> • Intensität des Alarmsystems • Multiplikation der Alarmmodalitäten • Klare und eindeutige Botschaften bezüglich drohender Gefahr 	<i>Tunnel</i> <ul style="list-style-type: none"> • Unzureichendes Niveau der Intensität des Alarmsystems • Fehlen von Informationen
	<i>Kontext</i> <ul style="list-style-type: none"> • Wahrnehmung unmittelbarer Signale (Feuer, Rauch, Hitze,...) • Auslösung einer zusammenhängenden kollektiven Bewegung mit der Idee der Alarmierung 	<i>Kontext</i> <ul style="list-style-type: none"> • Tunnelradio nicht eingeschaltet oder Lautstärke zu gering oder kein Autoradio vorhanden • Entfernung zu Informationsstellen

Phase 2: Entscheidung zur Evakuierung und Evakuierung		
a. Entscheidung, dass reelle Gefahr besteht und Evakuierung notwendig ist		
Aktivität Nutzer	Faktoren, die Evakuierung begünstigen	Faktoren, die Evakuierung verlangsamen
Suche nach ergänzenden Informationen + Definition Ausmass der drohenden Gefahr + Entscheidung zu Evakuierung oder Fortsetzen der Haupt- und Nebenaktivitäten (Wahl derjenigen Option, die den besten subjektiven Kompromiss zwischen wahrgenommenen Kosten und Nutzen)	<i>Nutzer</i> <ul style="list-style-type: none"> • Kenntnis Tunnel und Alarmsystem • Erfahrung mit Krisensituation (z.B. ehemaliger Feuerwehrmann) • Ängstlichkeit bezüglich Tunneldurchfahrt • Aspekt der Gruppenkonformität • Stress-Niveau 	<i>Nutzer</i> <ul style="list-style-type: none"> • Schlechte Darstellung der Situation • Negieren der Gefahr • Syndrom des "freundlichen Feuers" (feu amicale: Faszination des Feuers, Nicht-Erkennen als Gefahr) • Aspekt der Gruppenkonformität • Erhöhtes Stress-Niveau
Fortschreitendes Stress-Niveau	<i>Tunnel</i> <ul style="list-style-type: none"> • Klare und präzise Informationen bezüglich Art und Natur der Gefahr, Dringlichkeit der Situation und erforderliche Verhaltensweisen • Kohärenz der Informationen 	<i>Tunnel</i> <ul style="list-style-type: none"> • Fehlen von klaren und präzisen Informationen bezüglich Art und Natur der Gefahr, Dringlichkeit der Situation und erforderliche Verhaltensweisen
	<i>Kontext</i> <ul style="list-style-type: none"> • Wahrnehmung unmittelbarer Signale (Feuer, Rauch, Hitze,...) • Auslösung einer zusammenhängenden kollektiven Bewegung mit der Idee der Alarmierung 	<i>Kontext</i> <ul style="list-style-type: none"> • Tunnelradio nicht eingeschaltet oder Lautstärke zu gering oder kein Autoradio vorhanden • Entfernung zu Informationsstellen

b. Einstieg in Handlungen, die Evakuierung vorausgehen		
Aktivität Nutzer	Faktoren, die Evakuierung begünstigen	Faktoren, die Evakuierung verlangsamen
<p>Zu beobachtende Aktivitäten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hilfe rufen • Feuer bekämpfen • Familie versammeln • Andere Nutzer alarmieren • Alarm auslösen • Evakuierung managen/anweisen • Suche nach Informationen • Suche nach geeignetstem Fluchtweg • ... <p>+</p> <p>Nutzer handelt gemäss Entscheidungen, die er fällt und stellt seinen Handlungsplan nur in Frage, wenn starke Hinweise ihm die Notwendigkeit zu einer Umorientierung seiner Handlungsweisen aufzeigen.</p> <p>Bedeutendes Stress-Niveau</p>	<p><i>Nutzer</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Kenntnis Tunnel und Sicherheitsausstattung • Erfahrung mit Krisensituation (z.B. ehemaliger Feuerwehrmann) • Ängstlichkeit bezüglich Tunneldurchfahrt • Funktion/Rolle, die Verantwortungsübernahme für lokale Evakuierung begünstigt • Natürliche Leadership/Führungsqualität • Gruppenkonformität • Geschlecht, Alter • Stress-Niveau 	<p><i>Nutzer</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Schlechte Darstellung der Situation • Aspekt der Gruppenkonformität • Phänomen der Bindung • Geschlecht, Alter • Natürliche Leadership/Führung (aber schlechte Entscheidung) • Konflikt zwischen Führung und Nutzern • Stress-Niveau

Aktivität Nutzer	Faktoren, die Evakuation begünstigen	Faktoren, die Evakuation verlangsamen
	<p><i>Tunnel</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Klare und präzise Informationen bezüglich Art und Natur der Gefahr • Örtliche und Richtung gebende Informationen • Gute Sichtbarkeit oder Lesbarkeit der gesamten Fluchtweg- und Sicherheitssignalisation 	<p><i>Tunnel</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fehlen von klaren und präzisen Informationen bezüglich Art und Natur der Gefahr • Fehlen von klaren und präzisen Informationen zu Evakuationslösungen • Fehlen örtlicher und Richtung gebender Informationen • Geringe Sichtbarkeit oder Lesbarkeit der Schutzräume/Notausgänge • Geringe Sichtbarkeit oder Lesbarkeit der Fluchtwegsignalisation
	<p><i>Kontext</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Nähe zum Ereignis • Anwesenheit von ausgebildetem Betriebspersonal • Auslösung einer zusammenhängenden kollektiven Bewegung mit der Idee der Alarmierung • Schwere des Ereignisses 	<p><i>Kontext</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Distanz zum Ereignis • Wagen mit hohem objektivem und subjektivem Wert • Ladung mit hohem objektivem und subjektivem Wert

Phase 3: Bewegung zu Schutzräumen oder Notausgängen		
Aktivität Nutzer	Faktoren, die Evakuierung begünstigen	Faktoren, die Evakuierung verlangsamen
Wahl Evakuationslösung + Fortbewegung im Tunnel + Analyse neuer Signale, Informationssuche + Entscheidung sich weiter in Richtung gewählter Evakuationslösung zu bewegen oder diese in Frage zu stellen Erhöhtes Stress-Niveau	<i>Nutzer</i> <ul style="list-style-type: none"> • Kenntnis Tunnel und Sicherheitsausstattung • Vorwissen/Erfahrung mit Evakuierung • Stress-Niveau • Körperliche Widerstandsfähigkeit • Gruppenkonformität 	<i>Nutzer</i> <ul style="list-style-type: none"> • Schlechte Darstellung der Situation • Aspekt der Vertrautheit • Eingeschränkte Mobilität • Beeinträchtigte Wahrnehmung • Stress-Niveau • Gruppenkonformität
	<i>Tunnel</i> <ul style="list-style-type: none"> • Rauchkontrolle • Gute Sichtbarkeit oder Lesbarkeit der Fluchtwegsignalisation • Örtliche und Richtung gebende Informationen 	<i>Tunnel</i> <ul style="list-style-type: none"> • Geringe Sichtbarkeit oder Lesbarkeit der Schutzräume/Notausgänge • Geringe Sichtbarkeit oder Lesbarkeit der Fluchtwegsignalisation
	<i>Kontext</i> <ul style="list-style-type: none"> • Beleuchtungsniveau • Qualität von Boden und Wänden • Anzahl Schutzräume/Notausgänge • Dimensionierung der Schutzräume/Notausgänge 	<i>Kontext</i> <ul style="list-style-type: none"> • Rauch, toxische Gase • Versperrung der Fahrbahnen • Dichte der Menschenmenge

I.2 Nutzerverhalten und mögliche Massnahmen

Verhalten Nutzer	Massnahmen Betreiber/Politik (ungesichert)	Massnahmen Tunnelausstattung (für Nutzer)
<p><i>Alarmierungsphase</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Direkt involvierte Nutzer geben Alarm per Handy oder Notrufsäule • Berufsfahrer versuchen brennenden Wagen aus Tunnel zu lenken • Benutzen Feuerlöscher nicht • Benutzen eher Feuerlöscher als Feuerwehrschauch (fire hose) 	<p><i>Über alle Phasen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • International gültige Standards für "richtiges Verhalten" bei Brand im Tunnel: eindeutige, klare Verhaltensregeln ohne Zielkonflikte für User • Weiterbildung und Training: Verhalten bei Tunnelbrand als Bestandteil der Fahrprüfungsunterlagen und des Fahrunterrichts • Kommunikationskampagnen. Diffusion von Informationen über verschiedene Kanäle und an verschiedene Zielgruppensegmente, z.B. Berufsfahrer <p>-> begrenzte Wirkung, der Tunnel muss sprechen</p>	<p><i>Möglichkeit Ereignis melden + Brand löschen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • SOS-Telefon, selbsterklärend, einfache Handhabe, keine Sprachkenntnis erforderlich • Klare Kennzeichnung, dass SOS-Nische kein sicherer Ort im Brandfall: Schild; keine Kabine (noise cancelling technology), da Box Sicherheit suggeriert. • Information, wo man sich im Tunnel befindet (Piktogramm) – <i>ungesichert</i> • Feuerlöscher direkt verfügbar (Zugang ohne Hürden/Barrieren) – <i>ungesichert</i> • SOS-Telefon und Feuerlöscher auf Fluchtweg, hinter Notausgang verfügbar • Klare Markierung Feuerlöscher • Klare Bedienungsanweisung für Feuerlöscher, Aufforderung zur Nutzung? - <i>ungesichert</i>
<p><i>Allgemein</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Reaktion der nicht direkt involvierten Nutzer ist gekennzeichnet durch "Lethargie": Zeit, um Situation zu erkennen und zu interpretieren 		<p><i>Allgemein</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bedeutung von Information • Several channels zur Alarmierung erforderlich • Multi-redundancy
<ul style="list-style-type: none"> • Bleiben im Auto; weigern sich, Auto zu verlassen • Folgen innerem Drang ursprüngliche Tätigkeit ungehindert fortzusetzen • Verlassen Auto erst, wenn Operator sie auffordert (auch bei Rauch) • Verlassen Auto trotz Vorwissen in Form von Verhaltensregeln auf Leaflet nicht 		<p><i>a. Akustische Signale</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Lautsprechersystem (für voice messages) • Überblendbare Radiofrequenzen (alle auf freier Strecke verfügbaren Frequenzen; radio rebroadcasting)
<ul style="list-style-type: none"> • Nehmen Gefahr nicht wahr/ernst • Erkennen Gefahr erst, wenn Rauch oder Flammen sichtbar • Unterschätzen Gefahr Rauchentwicklung 		<p><i>b. Visuelle Signale</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Versatile message systems VMS / Multifunktionsanzeigen (vor Tunnelportal und im Tunnel)
<ul style="list-style-type: none"> • Ignorieren Radiodurchsagen, • hören Radiodurchsagen nicht, weil kein Radio vorhanden, 		

<ul style="list-style-type: none"> • hören Radiodurchsagen nicht, weil kennen Frequenzen nicht. Je mehr Frequenzen empfangbar, desto mehr Radiohörer. • nehmen Radiodurchsagen nicht wahr oder "miss significant parts of the information" • verstehen Durchsagen (der Betreiber/Polizei) nicht • befolgen Anweisungen nicht (persönlich, Signalisation, Durchsagen) • akzeptieren Anweisungen von Autoritäten 		
<ul style="list-style-type: none"> • Respektieren nicht Sicherheitsabstand zum nächsten Fahrzeug beim Anhalten 		
<ul style="list-style-type: none"> • Halten nicht an, sondern fahren an brennendem Fahrzeug vorbei oder kreuzen dieses 		
<ul style="list-style-type: none"> • Fahren in Tunnel hinein trotz Sperrung durch Rotlicht • Nehmen Schilder am Tunneleingang nicht wahr 		
<ul style="list-style-type: none"> • Kontaktieren Verwandte/Freunde über Handy für mehr Informationen 		
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Hesitationsphase</i> 		
<ul style="list-style-type: none"> • Verlassen Fahrzeug, bleiben aber im Tunnel ohne Schutzraum aufzusuchen • Verlassen Fahrzeug, tendieren dazu abzuschliessen • Machen Fotos, schauen umher • Nehmen Gefahr nicht ernst 		
<ul style="list-style-type: none"> • Kennen Sicherheitseinrichtungen nicht oder schlecht • Wissen nicht, wo sich Sicherheitseinrichtungen befinden • Erkennen Notausgänge nicht, • Erkennen Notausgänge nicht als solche, • Verwechseln Notausgang und Notrufkabine • Wissen nicht, wie Sicherheitseinrichtungen bedienen • Wissen nicht, wie sie sich verhalten sollen 		
<ul style="list-style-type: none"> • verstehen Durchsagen (der Betreiber/Polizei) nicht • befolgen Anweisungen nicht (persönlich, Signalisation, Durchsagen) 		
<ul style="list-style-type: none"> • Kontaktieren Verwandte/Freunde über Handy für mehr Informationen 		

<p><i>Evakuierungsphase</i></p>		<p><i>Fluchtweg, Notausgang, Schutzraum</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> • Bleiben im Auto und versuchen zu wenden, um Tunnel im Auto zu verlassen • Überleben, weil sie U-Turns machen und Tunnel per Auto verlassen • Bleiben im Auto oder flüchten ins Auto, weil ihnen dies sicher erscheint 		<p>Signalisation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wahrnehmbarkeit sowohl bei Normalsituation (Durchfahrt) als auch im Ereignisfall (Halten, schlechte Sicht, Fussgänger) • In case of emergency the conspicuity of exits should be enhanced
<ul style="list-style-type: none"> • Suchen Schutz in SOS-Nischen • Verwechseln Notausgang und Notruftkabine • Nutzen Notausgänge, wenn sie sie kennen resp. finden • Trauen sich nicht, Notausgänge zu nutzen 		<p>a. Visuell</p> <ul style="list-style-type: none"> • statisch oder steuerbar (z.B. Pfeil in richtige Richtung) • auf beiden Seiten der Tunnelfahrbahn • Höhe: Blickfeld (Achtung Unterschied: Augenhöhe oder wg. Rauch Kniehöhe) • Grösse / Dimensionierung auf Driver für Normaldurchfahrt • Grösse / Dimensionierung auf Pedestrian für Ereignisfall • Angabe Entfernung zum nächsten Notausgang • Leuchtkraft. Ist Signalisation salient?
<ul style="list-style-type: none"> • Bilden Gruppen oder bleiben in bestehenden Gruppen zusammen • Nehmen gerne Führung durch andere an, z.B. Übernahme Führerschaft durch einzelne Personen (natural Leadership) 		<p>b. Akustisch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sound beacons: directional and self explanatory (Sprache!)
<ul style="list-style-type: none"> • Versuchen Tunnel zu Fuss zu verlassen 		<p>c. Haptisch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Handlauf an Tunnelwand, <i>gesichert für Bahntunnel</i> • Bodenrillen auf Bankett, <i>ungesichert</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Versuchen persönliche Gegenstände aus Fahrzeug zu retten • Schliessen Fahrzeug ab, um Gegenstände zu sichern 		<p>Türen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leicht zu öffnen, in Fluchrichtung • Als Notausgang erkennbar • Vertraute Funktionsweise (???) • Farbliche Gestaltung muss sich abheben von Tunnelwand
<ul style="list-style-type: none"> • Kehren aus Schutzraum/sicherer Zone zurück in Gefahrenzone, um Gegenstände aus Auto zu holen • Kehren aus sicherer Zone in Gefahrenzone zurück, um Informationsbedürfnis zu befriedigen 		<p>Schutzraum</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zugang zu Trinkwasser • Zugang zu Decken
<ul style="list-style-type: none"> • Wählen Weg, der am vertrautesten ist, selbst wenn dieser durch Rauch führt. • User tasten sich durch Rauch an der Wand entlang (verlassen ungern sichere Wand) • Generell wählen User Weg vom Feuer weg 		
<ul style="list-style-type: none"> • verstehen Durchsagen (der Betreiber/Polizei) nicht • befolgen Anweisungen nicht (persönlich, Signalisation, Durchsagen) 		
<ul style="list-style-type: none"> • zeigen Stresssymptome, aber keine Panik • apathische Menschen müssen geführt werden 		
<ul style="list-style-type: none"> • Lassen sich durch akustisches Signal leiten, wenn dieses "directional" ist (sound beacons) 		

<ul style="list-style-type: none">• Bewegen sich schneller fort bei Rauch, wenn durch selbsterklärende Sound Beacons geleitet, überqueren dann auch Strasse (lösen sich von der Wand)• Bewegen sich schneller fort, wenn sie wissen, was sie tun müssen		<ul style="list-style-type: none">• Bänke / Stühle• Telefon / Möglichkeit mit Operator Kontakt zu halten• Lautsprechersystem für Informationen• Hinweis auf Sicherheit, Ort nicht verlassen <p>Galerie / Querschlag zur zweiten Tunnelröhre</p> <ul style="list-style-type: none">• Hinweis auf Notwendigkeit Ort zu verlassen• Exit-Signs on each door, beleuchtet, lesbar aus Entfernung
--	--	--

I.3 Betreiberverhalten und mögliche Massnahmen

Verhalten Betreiber	Massnahmen Organisation	Massnahmen Tunnelausstattung (für Betreiber)
<ul style="list-style-type: none"> • Kennt Abläufe nicht, weiss nicht was tun • Abläufe zu kompliziert. Operator kann diese nicht in kurzer Zeit umsetzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Emergency Plan mit klar definierten Abläufen und Kompetenzen (Zusammenarbeit zwischen Operator + Einsatzkräften) für höhere Verhaltenssicherheit und niedrigere Fehlerquote • Vereinfachung Management- + Steuerungssystem für Betriebstechnik im Ereignisfall (Signalisation, Belüftung, Kommunikation mit Nutzern) • Automatische Durchsagen (pre-taped messages) verfügbar (Lautsprecher, Radio Rebroadcasting) • Weiterbildung + Training, gemeinsame Übungen mit Einsatzkräften 	
<ul style="list-style-type: none"> • Nimmt ersten Alarm nicht ernst, wartet auf Bestätigung • Hat nicht genügend Informationen, z.B. weiss nicht wieviele Menschen im Tunnel sind 		<ul style="list-style-type: none"> • Automatische Branddetektion (AID): akustisch, visuell (CCTV)
<ul style="list-style-type: none"> • Benachrichtigt Rettungskräfte zu spät • Gibt Einsatzkräften unklare oder ungenügende Informationen 		
<ul style="list-style-type: none"> • Stimmt sich nicht ab mit anderen beteiligten Operators (dezentrale Struktur) 		
<ul style="list-style-type: none"> • Gibt verwirrende Infos mit nervöser Stimme 		<ul style="list-style-type: none"> • Lautsprechersystem (s. User) • Radio-Rebroadcasting (s. User) • Telecommunication umbrella • Multifunktionsanzeige (VMS)
		<ul style="list-style-type: none"> • Physische Barrieren vor Tunnelportal
	<p><i>Nationale / Internationale Ebene</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Klare, eindeutige, einheitliche Verhaltensregeln für Nutzer bei Tunnelbrand definieren 	

I.4 Verhalten der Rettungskräfte und mögliche Massnahmen

Verhalten Rettungskräfte	Massnahmen Organisation	Massnahmen Tunnelausstattung (für Rettungskräfte)
<p><i>Reaktion auf Alarm</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Fahren von externem Standort zu Ereignis, wenn alarmiert / auf Anforderung 	<ul style="list-style-type: none"> Einsatzpläne für jeden Tunnel mit Tunnelgrundriss und Ausstattung sowie klar definierten Abläufen und Kompetenzen (Zusammenarbeit zwischen Operator + Einsatzkräften) für höhere Verhaltenssicherheit und niedrigere Fehlerquote Weiterbildung + Training, gemeinsame Übungen aller Einsatzkräften mit Operator Einbezug in Ausarbeitung Einsatzpläne Einbezug in Planung Tunnelsicherheitsausstattung 	
<p><i>Informationsbeschaffung Lage</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Informieren sich über Ereignis bei Operator (1. Response-Stelle bei Brandmeldung durch User) Erkunden Situation ohne Löschmaterial Treffen Entscheidung zu Lösch- und Rettungsstrategie aufgrund Windrichtung + Ventilationseinstellung Verstehen / Interpretieren Informationen des Operators falsch (z.B. Ereignisort) Nutzen Ventilation strategisch für Lösch- und Rettungseinsatz Treffen an Tunnelseite ein mit stärkstem Rauchaufkommen 		<ul style="list-style-type: none"> Automatische Branddetektion (AID): akustisch, visuell (CCTV) Telecommunication umbrella
<ul style="list-style-type: none"> Treffen Fehlentscheidungen, revidieren diese zu spät Stehen vor ethischem Dilemma "Viele retten, Tod weniger dafür in Kauf nehmen" oder "Versuch alle mitzunehmen mit hohem Risiko, dass alle sterben" Kennen oder verstehen Tunnel und dessen Ausstattung nicht Sind nicht in Planung Tunnelausstattung einbezogen 		<ul style="list-style-type: none"> S. User
<p><i>Eingeschränkter Handlungsspielraum / Mobilität</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Sind langsam durch schwere Ausrüstung (geringe max. Distanz, Geschwindigkeit) Sind schnell erschöpft durch starke Erhitzung unter Ausrüstung und Gewicht von Material Können Verletzte max. 300m weit tragen Sauerstoffmenge in Atmungsgerät begrenzt Zeit zur Rettung im Rauch (max. 30 min.) Haben ungenügende Ausrüstung (Mangel an Atmungsgeräten) Können nur 7-20 min. nahe Brandherd sein 	<ul style="list-style-type: none"> Ausreichend Atmungsgeräte bereitstellen (für jeden Feuerwehrmann eines) 	<ul style="list-style-type: none"> Hydranten Fluchtwege (befahrbar)

<ul style="list-style-type: none">• Laufen vor Feuerwehrwagen her, damit keine Verletzten am Boden überfahren werden		
<ul style="list-style-type: none">• Können nicht bis zum Brandherd vordringen• Ziehen sich zurück bei zu starkem Rauch, aufgrund mangelndem Sicherheits-Backup• Retten sich gegenseitig, werden im Tunnel "gefangen"• Sterben an Rauchvergiftung mangels Ausrüstung		

I.5 Auswertung Richtlinien Tunnelausstattung

Ziele Tunnelausstattung

Die Tunnelausstattung beeinflusst vor allem das Verhalten der Nutzer. Betreiber und Einsatzkräfte sind für den Ereignisfall vorbereitet und haben ihre Notfall- und Einsatzpläne auf die technische Ausstattung des Tunnels abgestimmt. Deshalb wird ihr Verhalten im konkreten Ereignis weniger durch die Tunnelausstattung als vielmehr durch Organisation, Prozesse und Wissen beeinflusst.

Ziele Betreiber/Verkehrsleitzentrale

- Erkennt Art, Lage und Ausmass eines Ereignisses umgehend
- Kann Nutzer und Einsatzkräfte in kürzester Frist alarmieren und informieren
- Kann während des Ereignisses mit den Einsatzkräften kommunizieren

Ziele Nutzer

- Nutzer fahren nicht mehr in den Tunnel
- Nutzer im Tunnel verlassen umgehend das Auto und gehen zu den Notausgängen
- Nutzer alarmieren auf dem Weg andere Nutzer
- Nutzer finden sich schnell zurecht – auch in Rauch
- Nutzer verlieren auf dem Weg keine Zeit z.B. durch Laufen in falsche Richtung, SOS-Ruf oder Ähnliches.
- Nutzer verlassen den Tunnel durch die Notausgänge und gehen umgehend über den Fluchtweg in Richtung Sicherheit

Ziele Einsatzkräfte

- Können während des Einsatzes untereinander und mit dem Betreiber kommunizieren.

Detektion	
<p>Der Tunnel ist so ausgestattet, dass die Betriebszentrale ein Ereignis umgehend bezüglich Art des Ereignisses, Lage und Ausmass erfassen kann. Videoüberwachung, Branddetektion.</p> <p>Ereignisse werden den Mitarbeitenden in der Zentrale sowohl visuell als auch akustisch gemeldet.</p>	
SIA 197-2	<p>- CCTV zur Unfallerkennung für Tunnel > 600m (ASTRA "Verkehrsfernsehen")</p> <p>- automatische Branddetektion (Brandmelder, CO2-Sensoren, Trübungsmessgeräte, Kontaktpunkte an Halterung Handfeuerlöcher lösen Alarm aus bei Entnahme) (ASTRA-RL "Branddetektion")</p>
ASTRA-RL Verkehrsfernsehen	<p>Gilt für Tunnel ab 600 m Länge und für Tunnelkombinationen.</p> <p>Der gesamte Fahrbahnbereich und die Ausstell-Nischen müssen lückenlos mittels Kameras eingesehen werden können. Tunnels und Überfahrten in den Vorzonen sind zu überwachen (Blickrichtung zu den Portalen).</p> <p>Die Videoüberwachung muss mit Lichtstärke ab 0.5 cd arbeiten.</p> <p>Die Ereignisdetektion kann nicht lückenlos gewährleistet werden, weder quantitativ noch qualitativ. Die maschinelle Ereignisdetektion setzt qualitativ gute Bilder voraus. Der Kontrast ist wichtig. Die Systemverfügbarkeit der Ereignisdetektion muss 99 % erreichen. Die Fehlalarmquote muss kleiner 1 % sein.</p> <p>Es müssen folgende Ereignisarten erkannt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stauwarnung, Staubildung in drei Stufen • Detektion stehender Fahrzeuge (Pannfahrzeug) oder Hindernis im Fahrbahnbereich und Nischen (Nischenbelegung) • Falschfahrer • Detektion von Brand bzw. Rauch <p>Die Versorgung muss durch USV sichergestellt werden.</p> <p>Die Ereignisdetektion liefert die Kriterien, welche in den Leitstellen zur automatischen Bildaufschaltung erfolgt. Ereignisse müssen nach Prioritäten abgehandelt werden können.</p> <p>Die digitale Bildanalyse muss insbesondere Rauch erkennen können. Im Gegensatz zu anderen Ereignissen ist die Fehlalarmquote für die Branddetektion hoch. Die neuesten Erkenntnisse sind einzubringen und die Kombination mit anderen Parametern (z.B. Staudeckung) ist zu prüfen.</p> <p>Verweis auf SN 671 954</p>
ASTRA-RL Branddetektion	<p>- automatische Branddetektion in Tunneln mit Sicherheitseinrichtungen und/oder Lüftung für Ereignisfall. Einsatz in Tunneln >300m ohne diese Einrichtungen ist zu prüfen.</p> <p>- automatische Branddetektion initialisiert sofort situationsgerechten Betrieb der Tunneln. Ereignisdienste werden nach Vorhaltezeit alarmiert sowie Tunnelnutzer durch Signalisierung im Fahrraum gewarnt, Verkehr wird situationsgerecht gesteuert.</p>
ASTRA-RL Signalisation d. Sicherheitseinrichtungen	Keine Angaben
ASTRA-RL Lüftung der Strassentunnel	<p>Tunnel mit mechanischer Lüftung sind mit Geräten zur Messung der Sichttrübung auszustatten. Pro Tunnelröhre sind mindestens zwei Geräte zu betreiben.</p> <p>Tunnel mit mechanischer Lüftung sind mit einer Ereignis- und Branddetektion auszurüsten. (>Verweis auf ASTRA-RL Branddetektion). Grundsätzlich sind alle im Tunnel vorhandenen Sensoren einschliesslich der Videoanlage zur Detektion zu verwenden. Eine rasche Detektion ist entscheidend für die Wirksamkeit der installierten Lüftungsanlage. Bei einem System mit steuerbaren Abluftklappen sind Bestimmung des Ereignisortes und Unterscheidung zw. stationärem und bewegtem Brand massgebend.</p> <p>Als maximale Mitteilungszeit für die Messsysteme zur Ereignisdetektion sind 10s anzustreben.</p> <p>Sicherheitsrelevante Einrichtungen sind bei der Auslegung der unterbrechungsfreien Stromversorgung USV einzubeziehen.</p> <p>Tunnel sind abhängig vom Tunneltyp (Gegenverkehr, Richtungsverkehr), Gesamtverkehr, dem LW-Verkehr und der Längsneigung ab 500 bis 800 m Länge mit einer mechanischen Lüftung auszustatten.</p>

EU-RL 2004/54/EG	- Tunnel mit Leitstelle: Videoüberwachungssystem und System zur automatischen Erkennung von Verkehrsstörungen und/oder Bränden
	- Tunnel ohne Leitstelle: automatische Brandmeldesysteme, wenn der Betrieb mechanischer Rauchabzugslüftungen anders als der Automatikbetrieb zur Abgaslüftung erfolgt.

Interface Design

Dem Betreiber stehen einfache, nutzerfreundliche Steuerungssysteme zur Verfügung, die mit möglichst nur einem Knopfdruck die wichtigsten ersten Massnahmen umsetzen (Sperrung Tunnel, Alarmierung Einsatzkräfte, Alarmierung Nutzer, Ereignissignalisation für Fluchtweg, Notausgänge etc.).

Alle nötigen Steuerungselemente (Knöpfe, Telefon etc.) können auf einen Griff erreicht werden.

Die Anzahl eingehender Signale wird auf diejenigen begrenzt, die nötig sind, um das Ereignis richtig einzuschätzen.

Der Betreiber kann Alarmer, die nicht relevant sind bzw. die er bereits wahrgenommen hat, ausschalten.

SIA 197-2	Zusammenwirken der für die Sicherheit relevanten Anlagen der Betriebs- und Sicherheitsausrüstung wird in der Wirkmatrix dargestellt. Keine Vorgaben zu Komplexitätsgrad und Nutzerfreundlichkeit.
ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheits- einrichtungen in Tunneln	Keine Angaben
ASTRA-RL Verkehrs- fernsehen	Die einfache Anwahl der Kamerabilder durch den Operator muss gewährleistet sein. Die Kameraidentifikation muss eindeutig, einfach und durch eine Bezeichnung auf entsprechender Bildschirmgrafik erkennbar sein.
EU-RL 2004/54/EG	Tunnelsperrung im Notfall durch gleichzeitige Betätigung der Wechselverkehrszeichen, Lichtsignalanlagen, Sperrschranken, Lautsprecher vor und innerhalb des Tunnels. Keine Vorgaben zum Interface Design direkt.

Sicherheit SOS-Nische

In der SOS-Nische muss klar gekennzeichnet sein, dass dies im Ereignisfall kein sicherer Ort ist z.B. durch ein mehrsprachiges Schild, ein eindeutiges Piktogramm oder dadurch, dass auf eine Kabine verzichtet wird (noise cancelling technology erforderlich).

SIA 197/2	Kein Hinweis auf Kennzeichnung Lebensgefahr im Brandfall
ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheits- einrichtungen in Tunneln	Die SOS-Nischen sind mit einer Tür vom Fahrraum getrennt. Die SOS-Nischen sind permanent beleuchtet. Sie sind mit einem SOS-Alarmkasten ausgerüstet und mit einer Tür mit Sichtfenster versehen (>Verweis auf ASTRA-RL "Türen und Tore in Strassentunneln). Eine viersprachige Hinweistafel weist darauf hin, dass die SOS-Nische kein sicherer Ort ist.
ASTRA-RL Türen und Tore	SOS-Türen sind immer als Flügeltüren auszuführen. Es ist sicherzustellen, dass keine Druckdifferenzen entstehen. Standardmasse SOS-Türe (Mindestmasse): 0.80 m breit, 2.0 m hoch. Die Breite des Sichtfensters beträgt 0.3 m und dessen Höhe mindestens 80 Prozent der Türhöhe.
EU-RL 2004/54/EG	In Notrufstationen, die vom Tunnel durch eine Tür getrennt sind, muss ein klar lesbarer und in geeigneter Sprache abgefasster Text (...) darauf hinweisen, dass die Notrufstation keinen Schutz bei Feuer bietet, z.B. "Kein Brandschutz in diesem Raum. Folgen Sie den Zeichen zu den Notausgängen."

Ausstattung SOS-Nische

Das SOS-Telefon ist selbsterklärend und einfach zu benutzen – auch ohne Kenntnis der Landessprache.

Auf dem SOS-Telefon ist zu sehen, wo man sich im Tunnel befindet und wo der nächste Notausgang ist. (Piktogramm)

In der Nähe jedes SOS-Telefons sollte auch ein Notausgang sein

Feuerlöscher möglichst ohne Hindernis (Zeitverlust) verfügbar

Klare Markierung des Feuerlöschers: Piktogramm "Löcher mit Flammen" gut sichtbar angebracht.

Einfache Bedienbarkeit des Feuerlöschers

SIA 197/2 2 Handfeuerlöscher in SOS-Alarmkästen

ASTRA-RL
Signalisierung
der Sicherheits-
einrichtungen
in Tunneln

Feuerlöscher-Piktogramm: Die Richtlinie schreibt das Signal gemäss SSV ohne Flammen vor.

ASTRA-RL
Notruftelefon-
anlagen

Die Freisprechanlagen in Tunneln sind in Alarmkästen untergebracht. Der Alarmkasten verfügt ausserdem über eine automatische Meldung der Feuerlöscherentnahme und kann weitere Elemente wie Türkontakte etc. enthalten.

Die Alarmkästen werden in bauseits vorbereitete SOS Nischen gemäss SIA-Norm 179/2 eingebaut.

Das Mikrofon soll Nebengeräusche durch Richtcharakteristik und/oder spezielle Massnahmen im Mikrofonverstärker möglichst eliminieren.

Alarmkasten-Ausrüstung: Halterung für 2 Feuerlöscher mit Rückstellverriegelung, Kontakt für Fernüberwachung der Feuerlöscherentnahme, Freisprechplatte.

Ablauf Notruf: Betätigen der Notruftaste an der Notrufstation, warten bis Bedienstation Notruf entgegen nimmt. Beschriftung in vier Sprachen.

EU-RL
2004/54/EG

- Ausrüstungen sind mit "F"-Hinweiszeichen gem. Wiener Übereinkommen anzuzeigen (Piktogramm "SOS" und "Feuerlöscher". hier: ohne Flamme angezeigt).
- Mindestens mit einem Notruftelefon und zwei Feuerlöschern auszurüsten
- In der Nähe des Tunnelportals sowie im Tunnelinnern alle 150m resp. 250m (bei alten Tunneln)
- Keine Angaben zur Bedienbarkeit.
- Keine Angaben zu direktem Zugang

Sperrung Tunneleinfahrt

Nutzer werden sowohl visuell (Rotlicht, Chrzülistich) als auch physisch (Barriere) an der Einfahrt in den Tunnel gehindert.

Bereits 150-200 m vor dem Portal informiert eine Multifunktionstafel über den Grund der Sperrung (z.B. Tunnelnsperrung wegen Brand).

SIA-Norm Zu Signalisation im Tunnel: Signalisationsverordnung SSV

Signalisations-
verordnung SSV

Wo der Verkehr zeitweilig gesperrt werden muss, können Schranken angebracht werden (z.B. bei Bahnübergängen, Zollhaltestellen...). Die Ausgestaltung richtet sich nach den Bestimmungen für Bahnschranken.

Auf Autobahnen und Autostrassen ist das Anbringen von Tafeln mit Informationen über das Verkehrsgeschehen, die grossräumige Verkehrlenkung und den Strassenzustand gestattet, sofern dies aus Gründen der Verkehrssicherheit oder des Umweltschutzes geboten ist.

ASTRA-RL Signa-
lisierung der
Sicherheits-
einrichtungen in
Tunneln

Keine Angaben

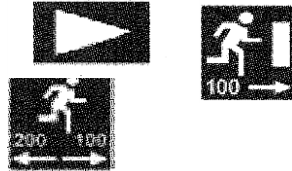
ASTRA-RL Verkehrsmanagement	<p>Für Tunnelsperrungen werden für alle Tunnelkategorien nur Lichtsignalanlagen vorgeschrieben. Bei Tunnels < 300 m ist nur in Ausnahmefällen eine Lichtsignalanlage am Portal erforderlich.</p> <p>Wechseltextanzeigen sehen folgende Informationen vor: Störungsart (z.B. Tunnelsper- rung), Störungsausmass (z.B. Unfall), Ort der Störung, allfällige Empfehlungen. Der Standort der WTA ist so zu wählen, dass sie aus einer Entfernung von rund 200 m er- kennbar, aus rund 150 m Entfernung lesbar ist. Verkehrsteilnehmer sollen durch WTA "nicht überrascht und überfordert werden".</p> <p>Keine Vorgaben zu Wechseltextanzeigen vor dem Tunnel bei Tunnelsperrung oder Brand, Verweis auf ASTRA RL "Wechseltextanzeigen".</p> <p>Tunnelsperrung bei richtungsgetretenn Tunneln: Der Verkehr wird vor der Mittelstreifen- überfahrt und vor dem Tunnelportal angehalten. Der gesperrten Zone gehen zwei bis drei Signalquerschnitte mit Gelbblinkern voraus (Distanz zwischen den Abschnitten 300-max. 600 m). Wenn Notausgänge vorhanden sind, werden die Lichtsignale im Tunnel wieder- holt.</p> <p>Bei Tunneln mit Gegenverkehr: Lichtsignalanlage direkt am Portal angebracht. Der gesperrten Zone gehen zwei Signalquerschnitte mit Gelbblinkern voraus.</p>
ASTRA-RL Wechseltextan- zeigen	Sperrung Tunnel: Wechseltextanzeige unmittelbar vor gesperrtem Tunnel.
EU-RL 2004/54/EG	<ul style="list-style-type: none"> • Tunnel von mehr als 1000 m Länge: Lichtsignalanlagen vor der Tunneleinfahrt zwingend, Wechselverkehrszeichen (VMS), Sperrschranken optional. • Empfehlung für Tunnel von mehr als 3000 m Länge, die über Leitstelle verfügen und Verkehrsaufkommen von mehr als 2000 Fahrzeuge pro Fahrstreifen: max. alle 1000m Einrichtungen zum Anhalten von Fahrzeugen (Lichtsignalanlagen, Lautspre- cher, VMS, Sperrschranken)
Information	
Nutzer werden redundant, sowohl visuell als auch akustisch über die Gefahrensituation im Tunnel informiert und eindeutig zum Verlassen des Tunnels aufgefordert. Jeder Nutzer kann – unabhängig von der Ausstattung sei- nes Autos - die Nachricht empfangen (Radio über alle Frequenzen plus Lautsprecherdurchsage plus Anzeigen- tafeln im Tunnel).	
SIA 197/2	Für Tunnel > 600m Funkanlage zum Empfang öffentlicher und privater UKW-Sender inkl. Verkehrsfunk (ARI) (ASTRA-RL "Funksysteme in Tunneln"). Keine Nennung von Lautspre- cheranlagen.
ASTRA-RL Funk- systeme in Tun- neln	
ASTRA-RL Signa- lisierung der Sicherheits- einrichtungen in Tunneln	Radio-Verkehrsinformationen: Die in den Tunneln verfügbaren Radiosender und ihre Fre- quenz werden angezeigt. Standort: einseitig rechts der Fahrbahn vor dem Tunnelportal, in längeren Tunneln wird die Signalisation im Abstand von ungefähr einem Kilometer wiederholt.

ASTRA-RL Funk-systeme in Strassentunneln	<p>Es wird angestrebt, im Tunnel die lückenlose Versorgung der im Aussenbereich für den entsprechenden Gebietsabschnitt vorhandenen Radioprogramme sicherzustellen.</p> <p>Das Rundfunknetz im Strassentunnel dient zusätzlich als Plattform für das Einsprechen von Meldungen aus der Einsatzzentrale des Polizeikorps. Die Versorgung muss so dimensioniert sein,</p> <ul style="list-style-type: none"> • dass die Tunnelstationen max. 12 UKW-Programme übertragen (technische und wirtschaftliche Gründe). • dass alle UKW-Signale den gleichen Pegel aufweisen, • dass mittels einer Einsprechanlage Alarmmeldungen auf Veranlassung der zuständigen Behörde gleichzeitig auf allen Kanälen ausgestrahlt werden können, • Dass richtungsgetrennte, wie auch einzelne Röhren in Tunnelgruppen, unabhängig voneinander besprochen werden können. • Dass während der Besprechung einer Röhre die übrigen Tunnelröhren mit den Radioprogrammen versorgt sind. <p>Dimensionierung der Tunnelfunksysteme: Sicherheitsstollen, Fluchtwege und Werkleitungskanäle werden grundsätzlich nicht versorgt.</p> <p>Um das Strahlungskabel gegen Hitze-Einwirkung oder vor mechanischen Beschädigungen zu schützen, ist eine Verlegung in den Frischluftkanal oder das Bankett möglich, was allerdings die Versorgungslänge erheblich reduziert.</p>
SSV	Das Signal "Radio-Verkehrsinformation" wird auf Autobahnen und Autostrassen nur aufgestellt a) wo der Frequenzbereich wechselt b) nach wichtigen Einfahrten und vor längeren Tunneln c) im Bereich der Landesgrenze.
EU-RL 2004/54/EG	<ul style="list-style-type: none"> - Sofern Leitstelle vorhanden und Rundfunksendungen für Tunnelnutzer übertragen werden, muss Möglichkeit bestehen, diese Sendungen für Sicherheitsdurchsagen zu unterbrechen. Obligatorisch. - Wechselverkehrszeichen und Lautsprecher optional, empfohlen für Tunnel > 3 km
Signalisation Fluchtweg im Tunnel, Normalsituation	
Fluchtwege und Notausgänge sind bei einer normalen Durchfahrt durch den Tunnel sichtbar (grossflächige Markierung in Grün rings um die Notausgänge).	
SIA 197/2	<ul style="list-style-type: none"> - Fluchtweg: Piktogramm für Fluchtrichtung, ergänzt mit Distanzangaben - Notausgang: Piktogramm, Signal AFNOR "Schutzeinrichtungen" (ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln)
ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln	Die tunnelwandseitige Umrandung des Notausgangs (objektspezifisch 1.0-1.5 m) und die Notausgangtüre werden grün gestrichen.
EU-RL 2004/54/EG	<ul style="list-style-type: none"> • Zur Kennzeichnung von Notausgängen "G"-Zeichen gem. Wiener Übereinkommen verwenden. Für alle Arten von Notausgängen ist dasselbe Zeichen zu verwenden. • Alle 25m Zeichen an Tunnelwänden in 1m-1,5m Höhe über Fluchtweg (Bankett) mit Angabe Entfernung zu jeweils nächstgelegenen Notausgängen • Kein Hinweis auf farbliche Gestaltung

Signalisation Fluchtweg im Tunnel, Ereignisfall

Wahrnehmbarkeit von Fluchtwegen und Notausgängen wird im Ereignisfall erhöht und stellt sicher, dass Nutzer die Notausgänge zu Fuss schnell finden – selbst wenn er sich auf der falschen Fahrbahnseite befindet:

- Hinterleuchtete Signalisation mit klaren Entfernungangaben.
Mit welcher Leuchtkraft? Welche Grösse am besten?? Spezifikation fehlt noch
- Abstand zwischen den Fluchtwegkennzeichen maximal 25 m
- Fluchtwegschilder werden auf einer Höhe von 1.0-1.2 m angebracht
- Fluchtwegschilder sollten eine Aufbauhöhe von 2-3 cm haben und grün hinterleuchtet werden.
- Es sollte nur der richtige Fluchtweg signalisiert werden (dynamische Signalisation)
- Ideale Schilder bei dynamischer Signalisation:



- Ideales Schild bei statischer Signalisation
- Fluchtweg sollte auf beiden Fahrbahnseiten signalisiert sein.

SIA 197/2	<p><i>Visuelle Signalisation:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fluchtweg: Piktogramm für Fluchtrichtung, ergänzt mit Distanzangaben • Notausgang: Piktogramm, Signal AFNOR "Schutzeinrichtungen" • (ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln) • Durchfahrtsbeleuchtung auf höchste Stufe schalten, Brandnotbeleuchtung aktivieren. Brandnotleuchten auf Seite der Notausgänge, Installationshöhe 0.5m über Bankett, Abstand 50m. Sind keine oder ausnahmsweise beidseitig Notausgänge vorhanden, dann Brandnotleuchten beidseitig.
ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln	<p>Leittafeln sind statisch, geben in beiden Richtungen die nächstgelegenen Notausgänge an, entsprechen nicht dem wirksamsten Signalisationstyp</p> <p>Leittafeln werden alle 25 m auf einer Höhe von 0.80-1.20 m über dem Bankett angebracht</p> <p>Nachleuchtdichte der Tafeln nach 0 min ≥ 200 mcd/m², nach 10 min ≥ 80 mcd/m²</p> <p>Abmessung 550 x 1200 mm</p> <p>Leittafeln werden nur auf der Seite der Notausgänge angebracht, in Tunneln ohne Notausgänge werden die Leittafeln auf der gegenüberliegenden Tunnelwand wiederholt und geben die Distanz zu den Portalen an.</p>
SSV	<p>Das Signal "Richtung und Entfernung zum nächsten Notausgang" weist auf den nächsten Notausgang hin. in Tunneln wird es mindestens alle 50 m auf einer Höhe von 1 bis 1.5 m über der Fahrbahn an der Tunnelwand angebracht. Das Signal "Notausgang" zeigt die Lage eines Notausgangs und wird unmittelbar bei diesem angebracht.</p> <p>Die Signale müssen retro-reflektierend oder nachts beleuchtet sein.</p>
EU-RL 2004/54/EG	<ul style="list-style-type: none"> - Zur Kennzeichnung von Notausgängen "G"-Zeichen gem. Wiener Übereinkommen verwenden. Für alle Arten von Notausgängen ist dasselbe Zeichen zu verwenden. - Alle 25m Zeichen an Tunnelwänden in 1m-1,5m Höhe über Fluchtweg (Bankett) mit Angabe Entfernung zu jeweils nächstgelegenen Notausgängen - In Notfällen zeigt eine in max. 1,5m Höhe anzubringende Fluchtwegbeleuchtung (z.B. Brandnotleuchten) den Tunnelnutzern, wie sie den Tunnel verlassen können. - keine Hinterleuchtung der Zeichen vorgeschrieben - keine dynamische Signalisation vorgeschrieben

Signalisation Fluchtweg im Tunnel, Rauch

Bei Rauch reichen visuelle Signalisationen nicht mehr aus, sie werden ergänzt durch:

- Durch selbsterklärende Sound Beacons „Exit here“
- durch haptische Führung entlang der Wand wie z.B. einen Handlauf

SIA 197/2 **Haptische Signalisation: nein**
Akustische Signalisation: nein

ASTRA-RL Signa-
lisierung der
Sicherheits-
einrichtungen in
Tunneln **Keine Angaben**

SIA-Norm

SSV Taktil-visuelle Markierung können auf den für die Fussgänger bestimmten Verkehrsflächen verwendet werden, um die Sicherheit für blinde oder sehbehinderte Personen zu erhöhen sowie deren Orientierung zu erleichtern. Zulässig sind Leitlinien zur Führung, Sicherheitslinien zur Abgrenzung eines Gefahrenbereichs, Abzweigungsfelder (...), Abschlussfelder (....) sowie Aufmerksamkeitsfelder namentlich bei Gefahrenstellen.

EU-RL
2004/54/EG Keine Angaben

Signalisation Notausgang

Der Notausgang ist auf Anrieb als solcher erkennbar: grüne, beleuchtete Tür mit Person, die in Richtung des Türgriffs flüchtet. Zusätzliche Markierung am Boden (Pfeil in Richtung Tür).

Ungesichert: Blitzlicht über Notausgang.

SIA 197/2 Piktogramm, Signal AFNOR "Schutzeinrichtungen" (ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln)

ASTRA-RL Signa-
lisierung der
Sicherheits-
einrichtungen in
Tunneln Das Signal Notausgang: weisse Figur auf grünem Grund, doppelseitig innen ausgeleuchtet, Grösse Normalformat: 50x70 cm, Kleinformat 35x50 cm, im rechten Winkel zum Notausgang angebracht. Zwei Versionen: Nach rechts oder links flüchtend.
Die Unterkante der Tafeln muss 2.35 m über Bankett liegen (Lichtraumprofil der Fahrbahn). Notausgangtür ist grün gestrichen.

Signal Notausgangtüre gut sichtbar auf der Notausgangtüre angebracht, helle nachleuchtende Figur auf grünem Grund, Normalformat 50x70, Kleinformat 35x50 cm

Figur flüchtet nur in eine Richtung (nicht unbedingt zum Türgriff hin).

Notausgangtüre wird permanent beleuchtet, dabei muss vor allem der Griff und der Bereich der Darstellung der Öffnungsweise klar ersichtlich sein. An Notstromversorgung angeschlossen.

Grüne Balken sind auf beiden Seiten des Notausgangs anzubringen. Die hervorstehende Struktur ist über die ganze Höhe permanent innen ausgeleuchtet. Grüne Balken ca. 2 m hoch. Die beleuchtete Struktur soll ca. 30 cm in Innenraum hervorstehen, mindestens aber 20 cm.

Auf beiden Seiten des Notausgangs werden je drei Blitzlichter mit weissen Licht von hoher Intensität angebracht. Sie werden nur bei einem Grossereignis eingeschaltet und leuchten in Tunnellängsrichtung nach aussen (d.h. weg vom Notausgang). Lichtstärke der Einzellichter mind. 100 cd, sichtbar leuchtende Fläche 50 cm², die sechs Leuchten müssen synchron blitzen.

EU-RL
2004/54/EG - Zur Kennzeichnung von Notausgängen "G"-Zeichen gem. Wiener Übereinkommen verwenden. Für alle Arten von Notausgängen ist dasselbe Zeichen zu verwenden.
- In Notfällen zeigt eine in max. 1,5m Höhe anzubringende Fluchtwegbeleuchtung (z.B. Brandnotleuchten) den Tunnelnutzern, wie sie den Tunnel verlassen können.
- Keine Angaben zu Beleuchtung und farblicher Gestaltung des Notausgangs sowie Markierung am Boden.

Gestaltung Notausgang begehbar

Notausgang hat keine Treppe

Breite des Notausgangs ist speziell für das Verkehrsaufkommen im Tunnel bemessen (z.B. breitere Türen oder mehr Türen für städtische Tunnel mit viel Busverkehr).

Die Tür lässt sich leicht und in Fluchtrichtung öffnen.

Die Tür funktioniert wie eine "normale" Türe, die die Nutzer gewöhnt sind.

Tür sollte immer unverschlossen und beleuchtet sein.

SIA 197/2	<p><i>Notausgang</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Randabschluss (Randstein, Schlitzrinne) muss nicht abgesenkt sein • <i>Rampen</i> mit geringer Längsneigung (max. 15%) gestaltet werden. • <i>Treppen</i> : Wenn, dann genügend grosser Vorraum mit mind. 8m² Grundfläche zwischen Tür und Treppe. Lichte Breite: 1m. • Breite Notausgang: mind. 2m, Höhe: mind. 2.50m <p><i>Tür:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • leicht bedienbar • i.d.R. Flügeltür, die zur Querverbindung öffnet. Schiebetüren in begründeten Fällen möglich, Bedienung muss für Benutzer deutlich erkennbar sein. • Breite mind. 1m, Höhe 2m
ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheits-einrichtungen in Tunneln	Keine Angaben
ASTRA-RL Türen und Tore	<p>Bei Türen auf Fluchtwegen sind Schwellen zu vermeiden. Absätze bis Höhe von 4 cm gelten nicht als Schwellen.</p> <p>Das Türöffnungsprinzip muss frühzeitig festgelegt werden. Zur Anwendung kommen im Normalfall Schiebetüren. Schiebetüren haben den Vorteil, dass sie auch bei einer grossen Druckdifferenz gefahrlos geöffnet werden können.</p> <p>Nur in Ausnahmefällen können Flügeltüren eingesetzt werden, wenn der Funktion jederzeit gewährleistet ist. Die Verwendung ist mit Lüftungstechnischen Berechnungen zu belegen. Als Flügeltüren ausgebildete Fluchtwegtüren müssen sich in Fluchtrichtung öffnen lassen. Nicht zulässig sind Pendeltüren.</p> <p>Als Schiebetüren ausgebildete Fluchtwegtüren können für beide Fluchtrichtungen verwendet werden. Bei Tagbautunneln mit nur einer Türe zwischen zwei Tunnelröhren sind die Fluchtwegtüren als Schiebetüren auszuführen. Nicht zulässig sind Flügeltüren für Tagbautunnel ohne Querverbindung und für 1-röhrige Tunnel mit druckbelüftetem Sicherheitsstollen.</p> <p>Notausgangtüren müssen vom Fahrraum her jederzeit leicht zu öffnen sein. Es sind einfache verständliche Öffnungsmechanismen zu verwenden. Die Griffe zur Öffnung der Türen auf Fluchtwegen sind für zueihändige Bedienung auszulegen. Die Türe darf nur einen einzigen Griff aufweisen.</p> <p>Die Öffnungsweise (Pfeil) muss gelb nachleuchtend auf grünem Grund sein, wie das Fluchtwegsymbol auf der Türe. Ausnahmen mit schwarzem Pfeil auf hellem Grund sind zu genehmigen. Druckstangen an Türen in Strassentunneln sind nicht zulässig.</p> <p>Nach Möglichkeit sollen alle Notausgangstüren nach dem gleichen Prinzip geöffnet werden können.</p> <p>Standardmass für Fluchtwegtüre: 1.25 m breit, 2.10 m hoch,</p> <p>Im Allgemeinen weisen die Türen und Tore keine Sichtfenster auf.</p> <p>Alle Fluchtwegtüren sind auf eine maximale Öffnungskraft von 80 N auszulegen. Elektromechanische Hilfen zum Öffnen der Türen sind nicht zulässig. Bei Notausgangstüren ist eine automatische Türschliessung ohne Fremdenergie erforderlich. Eine leichtgängige Bedienung und die Sicherheit der Benutzer müssen dabei gewährleistet sein.</p> <p>In der Regel sollen Schiebetüren in Fluchtrichtung nach rechts öffnen, Flügeltüren in Fluchtrichtung rechts angeschlagen werden. Schiebetüren können in Fluchtrichtung hinten oder vorn angeschlagen werden, Flügeltüren werden in Fluchtrichtung hinten angeschlagen.</p> <p>Notausgangtüren sind zu überwachen. Das Öffnen derartiger Türen löst in der Zentrale Alarm aus.</p>

EU-RL 2004/54/EG	<ul style="list-style-type: none"> - Geeignete Vorkehrungen z.B. Türen, müssen Ausbreitung von Rauch und Hitze in über Notausgänge zugänglichen Fluchtwegen verhindern, damit Tunnelnutzer sicher ins Freie gelangen können. - Keine Angaben zu Funktionsweise Türen - Keine Angaben zu Dimensionierung Notausgänge - Keine Angaben zu Rampen oder Treppen
Ausstattung Querschlag zu Rettungsstollen oder zur zweiten Tunnelröhre	
<p>Querverbindungen sind mit Lautsprechersystem ausgestattet.</p> <p>Querschlag ist mit Notruftelefon ausgestattet, so dass Flüchtende mit der Betriebszentrale Kontakt aufnehmen können.</p> <p>Es sind Schilder im Querschlag vorhanden, die deutlich machen, dass dies kein sicherer Ort ist und der Nutzer ihn schnellstmöglich durch die nächste Tür verlassen sollte. Mindestens in den Landessprachen und in Englisch</p> <p>Bei Zwei-Röhren-Tunnel: Auf den Türen sollten beleuchtete "Exit"-Schilder angebracht sein, die von der gegenüberliegenden Seite sofort zu erkennen sind. Gleichzeitig ist deutlich zu machen, dass auf der anderen Seite der Tür mit Verkehr gerechnet werden muss und die Röhre mit Vorsicht zu betreten ist.</p> <p>Bei Rettungsstollen: Schild auf der Tür zum Tunnel, das deutlich macht, dass Nutzer nicht in den Tunnel zurückkehren sollen – es sei denn, der Betreiber fordert sie dazu auf. Mindestens in den Landessprachen und in Englisch.</p>	
SIA 197/2	<ul style="list-style-type: none"> - Muss beleuchtet sein. - begehbbare Querverbindungen zum Tunnel sind mit je einer Tür gegenüber dem Fahrraum bzw. Stollen zu trennen
ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln	<p>Türen oder Fluchtwegen, die direkt in einen Fahrraum führen, müssen mit einer Tafel "Achtung Verkehr" versehen werden. Helle nachleuchtende Schrift auf grünem Grund. An der Tür in Augenhöhe. Normalformat: 120x60cm.</p> <p>Keine Angaben zu den sonstigen Forderungen.</p>
ASTRA-RL Türen und Tore	Grundsätzlich ist die Befahrbarkeit von Sicherheitsstollen und Querverbindungen nicht erforderlich.
ASTRA-RL Verkehrsmanagement	Bei einem Brand in einer Tunnelröhre: Röhre mit Brand Tunnelsperrung. Die freie Röhre wird abgesichert, indem der Verkehr vor dem Portal angehalten wird und die im Tunnel befindlichen Fahrzeuge auf dem langsamen Streifen hinausgeführt werden. Der linke Fahrstreifen, auf den die Notausgänge aus der Brandröhre münden, wird freigehalten.
ASTRA-RL Notruftelefonanlagen	In den als Fluchträume bzw. als Fluchtwege dienenden Querschlägen werden Freisprecheinrichtungen eingesetzt.
EU-RL 2004/54/EG	<ul style="list-style-type: none"> - In Schutzräumen und anderen Räumlichkeiten, in denen fliehende Tunnelnutzer warten müssen, bevor sie ins Freie gelangen können, müssen Lautsprecher für Durchsagen anzubringen. D.h. für Querverbindungen nicht zwingend erforderlich. - Keine Angaben zu Beschilderung - Keine Angaben zu Ausstattung
Ausstattung Rettungsstollen	
<p>Beschilderung des Rettungsstollens: Sofort sichtbare Pfeile in Fluchtrichtung, häufige Wiederholung dieser Pfeile. Angabe der Entfernung bis zum Ausgang.</p>	
SIA 197/2	<ul style="list-style-type: none"> - Muss beleuchtet sein.
ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln	In den Stollen, Gängen oder Treppen nach dem Notausgang wird Markierung angebracht, um Verkehrsteilnehmer zu leiten. Markierung besteht aus Leuchtkörpern oder aus nachleuchtenden Streifen und ist ausschliesslich in den Farben Weiss und Grün gehalten. Sie wird regelmässig angebracht, so dass sie stets sichtbar ist.
EU-RL 2004/54/EG	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Angaben zu Beschilderung - Keine Angaben zu Ausstattung

Ausstattung Schutzraum

Schutzraum ist mit Lautsprecheranlage ausgestattet

Schutzraum ist mit Notruftelefon ausgestattet, so dass Flüchtende mit der Betriebszentrale Kontakt aufnehmen können.

Es gibt im Schutzraum ein Schild, das darauf hinweist, dass dieser Ort sicher ist und die Flüchtenden auf die Rettungskräfte warten sollen – mindestens in den Landessprachen und in Englisch.

Schutzraum ist mit Trinkwasser, Decken, Sitzgelegenheit ausgestattet.

SIA 197/2 Fluchtwege in Räume ohne Ausgang ins Freie sind nicht zulässig.

ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheits-einrichtungen in Tunneln

Keine Angaben

ASTRA-RL Türen und Tore Fluchtwegtüren müssen jederzeit einen signalisierten Weg ins Freie für die Verkehrsteilnehmer gewährleisten.

EU-RL
2004/54/EG

Schutzräume mit einem von der Tunnelröhre getrennten Fluchtweg:

- In Schutzräumen und anderen Räumlichkeiten, in denen fliehende Tunnelnutzer warten müssen, bevor sie ins Freie gelangen können, müssen Lautsprecher für Durchsagen anzubringen.
- Keine Angaben zu Beschilderung
- Keine Angaben zu Ausstattung

Schutzräume ohne Ausgang zu einem Fluchtweg ins Freie dürfen nicht gebaut werden.

Funkausstattung Einsatzkräfte und Betreiber

Tunnel ist so ausgestattet, dass Einsatzkräfte im und ausserhalb vom Tunnel untereinander sowie mit dem Betreiber effizient kommunizieren können.

SIA 197/2 Für Tunnel > 600m: Funkanlage muss unterbrechungsfreie Funkverbindung für Ereignisdienste sicherstellen. (ASTRA-RL "Funksysteme in Tunneln")

ASTRA-RL Funksysteme in Tunneln

ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheits-einrichtungen in Tunneln

Keine Angaben

ASTRA-RL Funksysteme in Strassentunneln

Autonome Betriebsfunknetze der Blaulichtorganisationen werden in den nächsten Jahren durch das Sicherheitsnetz Funk der Schweiz, POLYCOM, abgelöst.
POLYCOM ist ein Bündelfunkdienst. Ermöglicht zahlreiche Services wie z.B. Individual Call, Group Call, Open Channel. (s. Faktenblatt Tetrapol des BAKOM).

EU-RL
2004/54/EG

Tunnel > 1km mit Verkehrsaufkommen > 2000 Fahrzeuge je Fahrstreifen: Funkübertragungsanlagen für Einsatzkräfte obligatorisch.

Sonstiges:

- ASTRA-RL Signalisierung der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln: Signalisation für Ereignisdienste. Die Signalisation der Einrichtungen, welche dem Einsatz der Ereignisdienste dienen, ist gegenüber der Signalisation der Sicherheitseinrichtungen klar abzugrenzen, so dass eine Verwechslung durch die Verkehrsteilnehmer ausgeschlossen ist. Dies gilt ebenso für Bauwerksteile, die dem Betrieb und Unterhalt des Tunnels dienen. Ein Signalisationskonzept ist zu erstellen.
- ASTRA-RL Lüftung der Strassentunnel: Vorgaben zu Lärmemissionen der Ventilatoren in Lärmschutzverordnung.
- ASTRA-RL Funksysteme: Für den UP-LINK gilt: Mit einer Sendeleistung von 1 Watt, eingespeist in eine XY Antenne auf dem Fahrzeugdach, muss die Anlage im UP-LINK unterbruchsfrei funktionieren. Mit diesen Werten ist in der Regel auch ein Handy-Betrieb sogar im Fahrzeuginnern möglich. Mobiltelefonie Anlagen sind nicht Eigentum der Kantone. Deshalb müssen für den Bau, Betrieb und Unterhalt Verträge mit dem Tunnelbesitzer abgeschlossen werden.

Geprüfte Normen:

- SIA 197 + 197/2
- ASTRA-RL Branddetektion
- ASTRA (2009): Signalisation der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln, Richtlinie, V1.99b, Entwurf vom 18.03.2009.
- ASTRA (2008): Lüftung der Strassentunnel, Richtlinie, Version V2.0
- ASTRA (2007): Funksysteme in Strassentunneln, Richtlinie, Version 3.02
- ASTRA (2005), „Verkehrsfernsehen“, Richtlinie, Entwurf 2005.
- ASTRA (2008): Türen und Tore in Strassentunneln, Richtlinie, V0.99h, Entwurf vom 11.07.2008.
- ASTRA (2008): Lüftung der Sicherheitsstollen von Strassentunneln, Richtlinie, Version 1.01
- ASTRA (2008): Verkehrsmanagement in der Schweiz, Richtlinie, Version 1.0.
- Signalisationsverordnung vom 5. September 1979, Stand am 1. Januar 2008.
- ASTRA (2005), „Notruftelefonanlagen“, *Richtlinie ASTRA 13005, Entwurf 2005.*
- ASTRA (2008), „Wechseltextanzeigen - Textmeldungen“, *Richtlinie ASTRA 15001, V4.00a (Entwurf 09-01-2008).*
- EU-RL 2004/54/EG

I.6 Auswertung Richtlinien Organisation, Prozesse, Wissen

Ziele

Ziele Betreiber / Verkehrsleitzentrale

- Reagieren schnell und routiniert auf Ereignisfälle
- Alarmieren umgehend Einsatzkräfte und Nutzer
- Liefern den Einsatzkräften alle notwendigen Informationen
- Informieren Nutzer so, dass diese die Lage realistisch einschätzen und wissen, was sie zu tun haben – bis diese in Sicherheit sind.
- Stimmen sich eng mit den Einsatzkräften ab und kooperieren ohne Zeitverluste

Ziele Nutzer

- Wissen, wie sie sich im Ereignisfall zu verhalten haben

Ziele Einsatzkräfte

- Reagieren schnell und routiniert auf ein Ereignis im Tunnel
- Stimmen sich schnell und effizient mit dem Betreiber und untereinander ab
- Führen den Einsatz routiniert, sicher und professionell durch

Massnahmen Nutzer

Vorwissen Nutzer ungesichert	
<p>Nutzer werden in der Fahrschule über das richtige Verhalten im Tunnel und die vorhandene Sicherheitseinrichtung unterrichtet. Richtiges Verhalten im Tunnel ist Bestandteil der Fahrprüfung.</p> <p>Nutzer lernen in der Fahrschule den richtigen Umgang mit Feuerlöschern und Notrufsäulen.</p> <p>Berufsfahrer erhalten in der Fahrschule ein besonderes Training über das richtige Verhalten im Tunnel, das sie auf ihre Vorbildfunktion im Tunnel vorbereitet.</p>	
SIA-Norm	
Wegleitung FKS	Keine Angaben
Feuerwehr 2015	Keine Angaben.
EU-RL 2004/54/EG	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Angaben zu Schulung Nutzer in Fahrschulen - Regelmässige Informationskampagnen für Nutzer vorgeschrieben: Die Tunnelnutzer sind an geeigneten Stellen (z.B. an Rastplätzen vor Tunneln, an Tunneleingängen, an denen der Verkehr angehalten wird, oder via Internet) über die vorhandenen Sicherheitseinrichtungen und das richtige Verhalten im Tunnel zu informieren.

Massnahmen Betreiber, Verkehrsleitzentrale, Einsatzkräfte

Notfallpläne und Einsatzpläne	
<p>Die Betriebsleitzentrale und Verkehrsleitzentrale haben einen Notfallplan, der klar definiert, in welcher Situation wie zu handeln ist und wer wofür zuständig ist.</p> <p>Im Notfallplan hat die Tunnelsicherheit Priorität vor Verkehrsbedürfnissen.</p> <p>Alarmierung von Einsatzkräften und Nutzern hat im Notfallplan Priorität vor anderen Tätigkeiten.</p> <p>Die Einsatzkräfte haben einen gemeinsamen Einsatzplan für den Tunnel. Der Einsatzplan umfasst neben Abläufen und Zuständigkeiten auch einen Tunnelgrundriss und -ausstattung.</p> <p>Der Notfallplan des Betreibers, der Verkehrsleitzentrale und Einsatzpläne der Einsatzkräfte sind aufeinander abgestimmt und werden gemeinsam erstellt und revidiert.</p> <p>Es ist sichergestellt, dass alle Beteiligten die Notfall- und Einsatzpläne kennen.</p>	
SIA 197	<p>Bei der Projektierung sind (...) die organisatorischen Massnahmen (Einsatzplan) festzulegen, welche für die Bewältigung von Ereignissen zu treffen sind. Sie können sich auf das Konzept der Infrastruktur auswirken.</p> <p>Das Einsatzkonzept bildet die Grundlage für den Einsatz der Ereignisdienste und die detaillierte Einsatzplanung. Es ist phasengerecht zu erarbeiten und mit den Ereignisdiensten abzusprechen.</p> <p>Die Betriebsanweisungen beschreiben die massgebenden Bedingungen für das Funktionieren der Ausrüstung. Sie müssen nachstehende Nutzungszustände erfassen: Normalbetrieb des Verkehrs, Sonderbetrieb des Verkehrs, Ereignisfall.</p>
Astra-RL Notruftelefonanlagen	<p>Die maximal zulässige Zeit zwischen dem Betätigen der Notruftaste und der Signalisierung des Anrufes an der Bedienstation und diejenige zwischen dem Betätigen der Taste zur Beantwortung des Notrufs und der Durchschaltung der Sprechverbindung beträgt nicht mehr als 1 Sekunde.</p> <p>In den Zentralen müssen für die Beantwortung von Notrufen genügend Verbindungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Allenfalls müssen Notrufe eine höhere Priorität als den Verbindungen von normalen Telefonapparaten zugeordnet werden.</p>
Wegleitung FKS	<p>In der Einsatzphase Selbstrettung ist die Einsatzzentrale der Polizei für die Warnung der Tunnelbenutzer zuständig. Mit dem Eintreffen der Feuerwehr am Schadenplatz übernimmt diese die Führung des Rettungs- und Löscheinsatzes. Die Gesamtleitung ist in der Einsatzplanung geregelt.</p> <p>Eine Veränderung des Automatikbetriebs der Tunnellüftungen durch geschultes Fachpersonal ist nur nach Absprache mit der Feuerwehr und einer speziellen Lagebeurteilung zulässig.</p> <p>Die objektspezifischen Informationen zu technischen Einzelheiten und zur Organisation sind in der Einsatzplanung enthalten.</p> <p>Die rasche Alarmierung der Feuerwehr ist ein vorrangiges Element der Personensicherheit. Das Risiko des Ausrückens bei Fehlalarm muss deshalb akzeptiert werden.</p>

Feuerwehr 2015	<p>Den Feuerwehren obliegt die Aufgabe des unverzüglichen, befristeten Ersteinsatzes in Kooperation mit Polizei und Sanität.</p> <p>Der Feuerwehrnotruf 118 ist durch eine professionell betriebene Notrufzentrale sicherzustellen. Die Abwicklung von der Annahme des Notrufs bis zum Eingang des Alarms bei den Feuerwehreinsatzkräften hat innerhalb einer Richtzeit von maximal 180 Sekunden und nach den Vorgaben der für die Feuerwehren verantwortlichen kantonalen Instanzen zu erfolgen. Das Ersteinsatzelement der Feuerwehr trifft spätestens innerhalb folgender Richtzeiten nach Eingang der Alarmierung bei den aufgebotenen Feuerwehreinsatzkräften an der Einsatzstelle ein: 10 Minuten in dicht besiedeltem Gebiet, 15 Minuten in dünn besiedeltem Gebiet. Die sicherheitsrelevanten Funktionen des Feuerwehr-Alarmierungssystems müssen redundant sein.</p> <p>Für spezielle Einsätze sind unter Berücksichtigung gesamtschweizerischer Vorgaben entsprechende Leistungsaufträge mit den Betreibern zu vereinbaren.</p> <p>Keine Angaben zu Einsatzplan und Abgrenzung Kompetenzen.</p>
EU-RL 2004/54/EG	<ul style="list-style-type: none"> - Zu allen Tunneln müssen Organisationspläne für den Notfall vorliegen. Bei binationalen Tunneln: ein gemeinsamer binationaler Organisationsplan, der sich auf beide Länder erstreckt. - Der Sicherheitsbeauftragte (...) stellt die Koordinierung mit den Einsatzdiensten sicher und wirkt an der Ausarbeitung von Betriebsabläufen mit; er wirkt an der Planung, Durchführung und Bewertung von Einsätzen im Ereignisfall mit, er wirkt an der Ausgestaltung von Sicherheitsprogrammen (...) mit; er stellt sicher, dass das Betriebspersonal und die Einsatzdienste geschult werden und wirkt an der Organisation von Übungen mit, die regelmässig abgehalten werden. - Keine Angaben zu gemeinsamer Erarbeitung und Inhalten des Einsatzplans
Vereinfachung von Abläufen im Ereignisfall	
<p>Der Notfallplan vereinfacht die Abläufe und reduziert die Anzahl der Aufgaben, die gleichzeitig zu bewältigen sind, so weit wie möglich.</p> <p>Die Notfall- und Einsatzpläne werden in Übungen überprüft und bei Bedarf revidiert.</p> <p>Zeitkritische Prozesse sind mit einem Griff verfügbar z.B. Instruktionkarte am Arbeitsplatz.</p>	
SIA-197-1	<p>Die baulichen, betrieblichen und organisatorischen Massnahmen sind so zu bestimmen, dass sie die Möglichkeit für eine rasche Intervention am Ereignisort, zuerst durch die Verkehrsteilnehmer und anschliessend durch die Ereignisdienste, fördern.</p>
Wegleitung FKS	<p>Jährlich: Rekognoszieren aller Massnahmen und baulichen Massnahmen, gemeinsame Schulungen</p>
Feuerwehr 2015	<p>Keine Angaben</p>
EU-RL 2004/54/EG	<ul style="list-style-type: none"> • Die bei einem Störfall im Tunnel bis zum Eintreffen der Einsatzkräfte benötigte Zeit muss so kurz wie möglich sein. sie ist bei periodisch abzuhaltenden Übungen zu messen. • Der Sicherheitsbeauftragte (...) stellt die Koordinierung mit den Einsatzdiensten sicher und wirkt an der Ausarbeitung von Betriebsabläufen mit; er wirkt an der Planung, Durchführung und Bewertung von Einsätzen im Ereignisfall mit, er wirkt an der Ausgestaltung von Sicherheitsprogrammen (...) mit; er stellt sicher, dass das Betriebspersonal und die Einsatzdienste geschult werden und wirkt an der Organisation von Übungen mit, die regelmässig abgehalten werden. • Keine Angabe zu Ablauf/Interface Design

Training - Routine

Es gibt ein Trainingsprogramm, das regelmässige Übungen für die Betriebszentrale und die Verkehrsleitzentrale vorsieht. Das Programm stellt sicher, dass alle Beteiligten Abläufe und Zuständigkeiten kennen und Ereignisse routiniert und gemäss dem Notfallplan bewältigen können.

Auch die Mitarbeitenden der Verkehrsleitzentrale sollten den Tunnel gut kennen und ihn in regelmässigen Abständen besichtigen.

Es werden realitätsnahe computerbasierte Trainingstools eingesetzt. ???

SIA-Norm

ASTRA-RL
Lüftung der
Strassentunnel

Inbetriebnahme der Anlage: Die zukünftigen Operateure der Lüftung sind anhand konkreter Situationen mit der Anlage vertraut zu machen und eingehend zu schulen. Von den Operateuren wird die Beherrschung der Anlage sowohl im automatischen wie im manuellen Betrieb und beim Test der Komponenten verlangt. Um diesen Kenntnisstand zu erreichen und zu halten sind die Operateure wiederkehrend zu schulen und der Erfahrungsaustausch ist zu fördern.

Wegleitung
FKS

Bei Standardereignissen ist die Zusammenarbeit zwischen Feuerwehr, Polizei, Unterhalts- und sanitätsdienstlichem Rettungsdienst eingespielt.

Feuerwehr
2015

Die Ausbildung muss den Anforderungen des Einsatzes entsprechen. Die eigene Sicherheit der Feuerwehrangehörigen muss integraler Bestandteil jeder Aus- und Weiterbildung sein.
Keine Angaben zu Tunnel spezifischen Übungen.

EU-RL
2004/54/EG

- Die Sicherheit im Tunnel erfordert (...) Verkehrsmanagement, Schulung der Einsatzkräfte, Störfallmanagement, Verbesserung der Kommunikation zwischen zuständigen Behörden und Einsatzdiensten wie Polizei, Feuerwehr und Rettungskräften.
- Der Sicherheitsbeauftragte (...) stellt die Koordinierung mit den Einsatzdiensten sicher und wirkt an der Ausarbeitung von Betriebsabläufen mit; er wirkt an der Planung, Durchführung und Bewertung von Einsätzen im Ereignisfall mit, er wirkt an der Ausgestaltung von Sicherheitsprogrammen (...) mit; er stellt sicher, dass das Betriebspersonal und die Einsatzdienste geschult werden und wirkt an der Organisation von Übungen mit, die regelmässig abgehalten werden.
- Das Betriebspersonal sowie das Personal der Einsatzkräfte muss eine geeignete Grundschulung und fortlaufende Schulungen erhalten.

Organisation

Verkehrslenkung und technischer Betrieb des Tunnels sind räumlich konzentriert.

SIA-Norm

Wegleitung
FKS

Keine Angaben

Feuerwehr
2015

Keine Angaben

EU-RL
2004/54/EG

Für alle Tunnel, für die eine Leitstelle vorgeschrieben ist, einschliesslich binationaler Tunnel gilt, dass eine einzige Leitstelle jederzeit die volle Kontrolle ausüben muss.

Rekrutierung – Anforderungsprofil

Es gibt ein definiertes Anforderungsprofil für die Personen, die den Verkehr lenken und die für den Betrieb zuständig sind, das sicherstellt, dass diese Personen auch unter Druck ihren Aufgaben zuverlässig nachkommen können. Dieses Anforderungsprofil ist die Basis für die Rekrutierung.

Besondere Anforderungen: konstante Leistung auch unter grossem Druck, gutes Kommunikationsvermögen.

Die Reaktion unter Stress wird bei der Einstellung speziell geprüft.

Die Mitarbeitenden sprechen mindestens die Landessprache und Englisch. Bei grenzüberschreitenden Tunnels sprechen die Mitarbeitenden die Sprachen beider Länder sowie Englisch.

SIA-Norm

Wegleitung
FKS

Keine Angaben

Feuerwehr
2015

Keine Angaben

EU-RL
2004/54/EG

Keine Angaben

Personalausstattung

Es gibt klare Kriterien dafür, wie viele Personen in der Betriebsleitzentrale gleichzeitig Dienst tun (z.B. Aufgaben – Verkehr und Betrieb?, Tunnellänge und –typ, Verkehrsdichte, Zahl der Tunnels, Komplexität der Infrastruktur etc.).

Minimum für einen langen Tunnel: Eine Person, die für den Verkehr zuständig ist und eine Person, die für den technischen Betrieb zuständig ist.

Die Mitarbeitenden haben im Normalbetrieb ständig kleinere Aufgaben zu erledigen, die dafür sorgen, dass sie aufmerksam bleiben.

SIA-Norm

Wegleitung FKS	Keine Angaben
-------------------	---------------

Feuerwehr 2015	Keine Angaben
-------------------	---------------

EU-RL 2004/54/EG	Keine Angaben
---------------------	----------------------

Kooperation mit Einsatzkräften

Die Einsatzkräfte werden in den Planungsprozess der Tunnelsicherheitsausstattung integriert.

In regelmässigen Abständen gibt es eine praktische, gemeinsame Übung aller Beteiligten (Betreiber, Verkehrsleitzentrale, Einsatzkräfte).

In regelmässigen Funktionstests prüfen die Einsatzkräfte gemeinsam mit dem Betreiber die Funktionsfähigkeit der technischen Sicherheitsausstattung und lernen, damit umzugehen.

Standardisierung der Information: Es ist klar festgelegt, welche Informationen der Betreiber den Einsatzkräften bei der Alarmierung geben sollte (z.B. Art des Feuers, Lage, gefährliche Güter, Anzahl Personen, Ventilationsstrategie, Ausdehnung der Rauchzone, Vorschläge für den Zugang).

SIA-Norm

Wegleitung FKS	Jährlich: Rekognoszieren aller Massnahmen und baulichen Massnahmen und Schulung
-------------------	---

Feuerwehr 2015	Keine Angaben
-------------------	---------------

EU-RL 2004/54/EG	Keine Angaben zu Integration Einsatzkräfte in Planungsprozess <ul style="list-style-type: none"> • Die Sicherheit im Tunnel erfordert (...)Schulung der Einsatzkräfte, Verbesserung der Kommunikation zwischen zuständigen Behörden und Einsatzdiensten wie Polizei, Feuerwehr und Rettungskräften. • Der Sicherheitsbeauftragte (...) stellt die Koordinierung mit den Einsatzdiensten sicher; er stellt sicher, dass das Betriebspersonal und die Einsatzdienste geschult werden und wirkt an der Organisation von Übungen mit, die regelmässig abgehalten werden. • Das Betriebspersonal sowie das Personal der Einsatzkräfte muss eine geeignete Grundschulung und fortlaufende Schulungen erhalten.
---------------------	---

Grenzüberschreitende Tunnel

Bei grenzüberschreitenden Tunnels übernimmt immer nur eine Betriebszentrale und eine Person die Führung.

Für grenzüberschreitende Tunnels sollte eine einzige Betreiberorganisation zuständig sein, damit sichergestellt ist, dass die Tunnelausstattung im gesamten Tunnel einheitlich ist.

Die Einsatzkräfte aus beiden Regionen führen in regelmässigen Abständen gemeinsame Übungen durch.

Die Einsatzkräfte nutzen dieselben Radiokanäle und Frequenzen für die Kommunikation.

Betreiber und Einsatzkräfte aus beiden Regionen einigen sich auf eine gemeinsame Sprache.

Die Gerätschaften sollten jeweils in beiden Regionen einsetzbar sein.

SIA-Norm

Wegleitung FKS	Keine Angaben
-------------------	---------------

Feuerwehr 2015	Keine Angaben
-------------------	---------------

EU-RL 2004/54/EG	Für alle Tunnel, für die eine Leitstelle vorgeschrieben ist, einschliesslich binationaler Tunnel gilt, dass eine einzige Leitstelle jederzeit die volle Kontrolle ausüben muss.
---------------------	---

Information - Nutzer

Nutzer werden umgehend so informiert, dass sie den Ernst der Lage realistisch einschätzen können und wissen, was sie zu tun haben (Gefahr, **Notausgänge**, in welcher Richtung).

Die Information für die Nutzer wird **mehrfach, mindestens drei Mal** wiederholt.

Es stehen vorab aufgenommene, deutlich und ruhig gesprochene Standardansagen zur Verfügung, die die Nutzer in mehreren Sprachen (Landessprachen und Englisch) alarmieren und führen – sowohl im Tunnel als auch im Rettungsstollen, Querschlag, Schutzraum oder in der zweiten Tunnelröhre.

Nutzer von grenzüberschreitenden Tunnels werden mindestens in den beiden Landessprachen sowie Englisch informiert.

SIA-Norm

ASTRA-RL Funksysteme in Strassentunneln	Das Einsprechen in den Tunnel benötigt ein klar definiertes Durchsagekonzept und eine rund um die Uhr besetzte Zentrale. Sofern der Betrieb abgesprochen ist, ist auch eine Tunnel-Besprechung aus mehreren Zentren möglich. Bei grösseren Anlagen kann die individuelle Besprechung über das Mikrofon nicht mehr vorausgesetzt werden. Ein geeignetes Sprachspeicher- und Auswahl-System mit den entsprechenden Texten ist vorzusehen. Der oder die zu besprechenden Tunnel sowie die dem Ereignis angepasste Durchsage kann am Bildschirm ausgewählt werden. Sämtliche Anlageteile müssen über die Standard-USV-Versorgung gespiesen werden.
---	--

Wegleitung FKS	In der Einsatzphase Selbstrettung ist die Einsatzzentrale der Polizei für die Warnung der Tunnelbenutzer zuständig. Die Selbstrettung verläuft ohne Einflussnahme der Ereignisdienste. Mit der Warnung der Tunnelbenutzer muss erreicht werden, dass diese ihre Fahrzeuge rasch verlassen und sich sofort zu den Notausgängen begeben. Dazu werden folgende Einrichtungen und Massnahmen verwendet: auffällige optische Warnsignale bei den Notausgängen, akustische Warnungen, Durchsagen über Radio in verschiedenen Sprachen.
-------------------	--

Feuerwehr 2015	Keine Angaben
-------------------	---------------

EU-RL 2004/54/EG	Keine Angaben
---------------------	---------------

Wissen Brandbekämpfung im Tunnel

Die Einsatzkräfte erhalten spezielle Schulungen, wie man einen Brand im Tunnel bekämpft und welche Besonderheiten es zu beachten gilt (Feuerphysik, Evakuationsstrategie, Ventilationsstrategie, Umgang mit Atemgeräten).

Die Einsatzkräfte haben klare Kriterien, ab wann sie nicht mehr weiter in den Tunnel vordringen können, weil die Umstände es nicht zulassen (z.B. Sichtbarkeit, Temperatur etc.)

SIA-Norm

Wegleitung FKS	Tunnelbrand bezogene Ausbildungsmodulare für Angehörige von Tunnelstützpunktfeuerwehren
Feuerwehr 2015	Die Ausbildung muss den Anforderungen des Einsatzes entsprechen. Die eigene Sicherheit der Feuerwehrangehörigen muss integraler Bestandteil jeder Aus- und Weiterbildung sein.
EU-RL 2004/54/EG	Keine Angaben

Qualitätssicherung

Alle sicherheitsrelevanten Dokumente, Prozesse und Einrichtungen sollten regelmässig evaluiert werden (Pläne, Trainingsprogramm etc.).

SIA-Norm

ASTRA-RL
Lüftung der
Strassentunnel

Für die Untersuchung des Ereignisses und zur Analyse der Lüftungsfunktion ist jedes Brandereignis in einem nachvollziehbaren und vollständigen Bericht zuhanden des ASTRA zu dokumentieren.

Die Funktion jeder einzelnen Komponente der Lüftung muss periodisch geprüft werden. Soweit möglich und sinnvoll sollen diese Prüfungen automatisiert werden. Diese Tests und ihre Ergebnisse sind zu dokumentieren.

ASTRA-RL
Funksysteme
in Strassentunneln

Tunnelfunkanlagen müssen regelmässig z.B. 1 jährlich auf die Referenz-Werte überprüft werden. Dazwischen sollten aber regelmässige Funktionstests der verschiedenen Dienste durchgeführt werden. In der Regel wird die Tunnelfunkanlage durch das Tiefbauamt des Kantons betreut.

Wegleitung
FKS

Jährlich: Rekognoszieren aller Massnahmen und baulichen Massnahmen

Feuerwehr
2015

Der hohe Leistungsstandard der Feuerwehren ist durch eine bewusste und kontinuierliche Qualitätssicherung auf allen Ebenen und in allen Bereichen mindestens zu halten.

EU-RL
2004/54/EG

Keine Angaben

Technische Ausstattung Feuerwehr

Die Feuerwehr ist mit Atmungsgeräten für alle Feuerwehrleute ausgestattet.

SIA-Norm

Wegleitung
FKS

Vor den Tunnelportalen ist eine Kontrollstelle mit den folgenden Aufgaben einzurichten: (...) Verhindern des Eintretens von Personen ohne Atemschutz in den Tunnel.

Verrauchte Zonen dürfen ausschliesslich durch Atemschutztrupps, ausgerüstet mit einer Wärmebildkamera, begangen werden.

Für die Intervention müssen Atemschutzausrüstungen für Langzeiteinsätze zur Verfügung stehen.

Feuerwehr
2015

Die personelle und materielle Ausstattung des Ersteinsatzelementes ergibt sich aus dem Einsatzauftrag; in der Regel umfasst es mindestens 8 AdF mit der erforderlichen Ausstattung.

EU-RL
2004/54/EG

Keine Angaben

Untersuchte Richtlinien:

- ASTRA (2009): Signalisation der Sicherheitseinrichtungen in Tunneln, Richtlinie, V1.99b, Entwurf vom 18.03.2009.
- ASTRA (2008): Lüftung der Strassentunnel, Richtlinie, Version V2.0
- ASTRA (2007): Funksysteme in Strassentunneln, Richtlinie, Version 3.02
- ASTRA (2005), „Verkehrsfernsehen“, Richtlinie, Entwurf 2005.
- ASTRA (2008): Türen und Tore in Strassentunneln, Richtlinie, V0.99h, Entwurf vom 11.07.2008.
- ASTRA (2008): Lüftung der Sicherheitsstollen von Strassentunneln, Richtlinie, Version 1.01
- ASTRA (2008): Verkehrsmanagement in der Schweiz, Richtlinie, Version 1.0.
- Signalisationsverordnung vom 5. September 1979, Stand am 1. Januar 2008.
- ASTRA (2005), „Notruftelefonanlagen“, *Richtlinie ASTRA 13005, Entwurf 2005.*
- ASTRA (2008), „**Wechseltextanzeigen - Textmeldungen**“, *Richtlinie ASTRA 15001, V4.00a (Entwurf 09-01-2008).*
- EU-RL 2004/54/EG
- Wegleitung FKS (Technische Wegleitung für die Intervention bei Bränden in Strassentunneln)
- Feuerwehr 2015. Entwurf vom 17. November 2008 (Vernehmlassungsverfahren). FKS

I.7 Empfehlungen für Nutzer - Vergleich

Verhalten im Tunnel - allgemein				
EU	Astra	TCS/EuroTAP	Österreich	Grossbritannien
Radio hören	Pannen vermeiden: Haben Sie genügend Benzin?	Vor der Einfahrt: Tankfüllung prüfen	Licht einschalten Sonnenbrille abnehmen	Radio hören <i>Radio einschalten</i> und ausgeschilderte <i>Tunnelfrequenz einstellen</i>
Licht einschalten	Richtiger Abstand im Tunnel für PW: 50m bei 80 km/h	Radiosender mit Verkehrsfunk hören	Radiosender mit Verkehrsfunk hören	Licht einschalten, Sonnenbrille abnehmen
Verkehrszeichen und Ampeln beachten	Geschwindigkeit: Signalisiertes Tempo gleichmässig fahren	Licht einschalten Sonnenbrille abnehmen	Verkehrszeichen und Ampeln beachten	Verkehrszeichen und Ampeln beachten
Sicherheitsabstand einhalten zum vorausfahrenden Fahrzeug	Radio hören: signalisierte UKW-Frequenzen	Verkehrszeichen und Ampeln beachten	Sicherheitsabstand einhalten	Sicherheitsabstand einhalten zum vorausfahrenden Fahrzeug
Nicht überholen	-	Grossen Sicherheitsabstand einhalten zum vorausfahrenden Fahrzeug	Tempolimit einhalten	Nicht überholen: Nur eine Fahrspur für jede Richtung
Nicht wenden.	-	Tempolimit einhalten	Überholverbot einhalten	Nicht wenden.
Nicht anhalten – ausser im Notfall	-	Sicherheitseinrichtungen wie Notausgänge und Notrufstationen (SOS) einprägen	Nicht anhalten – ausser im Notfall	Nicht anhalten – ausser im Notfall
-	-	Tunnel mit Gegenverkehr: Immer am rechten Fahrbahnrand orientieren, niemals über Mittellinie fahren	-	-
-	-	Niemals wenden Niemals rückwärtsfahren	-	-
-	-	Nicht anhalten – ausser im Notfall	-	-
<i>Zusatzbemerkung: keine</i>	-	<i>Zusatzbemerkung:</i> Anweisungen und Informationen des Tunnelpersonals beachten	-	-

Verhalten im Tunnel – allgemein (Forts.)				
EU	Tiefbauamt Graubünden	KaPo Zürich	Les routiers suisses	Deutschland (BMVBW)
Radio hören	-	Aufmerksam fahren – Abstand halten.	Sicherheitsabstand einhalten zum vorausfahrenden Fahrzeug: (21,22 zählen)	- Verkehrszeichen und Ampeln beachten. - Bei Rot vor dem Tunnel niemals in den Tunnel hineinfahren
Licht einschalten	-	-	Aufmerksam sein, sich nicht ablenken lassen	Licht einschalten Sonnenbrille absetzen
Verkehrszeichen und Ampeln beachten	-	-	Nicht wenden. Nicht rückwärtsfahren.	Radio einstellen auf Verkehrsfunksender
Sicherheitsabstand einhalten zum vorausfahrenden Fahrzeug			Nicht anhalten – ausser im Notfall	Überholverbote beachten
Nicht überholen	-	-	Lüftung auf Umluft stellen	Sicherheitsabstand vergrössern
Nicht wenden.	-	-	Nicht rauchen.	Geschwindigkeitsbeschränkungen strikt einhalten
Nicht anhalten – ausser im Notfall	-	-	-	Am rechten Fahrstreifen orientieren
-	-	-	-	Nicht anhalten – ausser im Notfall
-	-	-	-	Nicht wenden. Nicht rückwärtsfahren

Verhalten bei Stau				
EU	Astra	TCS/EuroTAP	Österreich	Grossbritannien
Warnblinker einschalten	Seitwärts anhalten	Warnblinker einschalten	Warnblinker einschalten	Warnblinker einschalten
Abstand halten	Motor abstellen	Abstand halten: Bei Verkehrsstillstand mind. 5 Meter zum Vordermann	Abstand halten	Abstand halten, auch bei langsamem Fahren oder Anhalten.
Motor abstellen	Fahrzeug nicht verlassen	Motor abstellen bei Verkehrsstillstand	Motor abstellen	Motor abstellen, wenn Verkehr hält
Radio hören	Radio einschalten	Im Fahrzeug bleiben	Radiosender mit Verkehrsfunk hören	Radiodurchsagen hören
Anweisungen befolgen von Tunnelpersonal oder VMS	-	Radiosender mit Verkehrsfunk hören	Nicht wenden Nicht rückwärtsfahren	Anweisungen befolgen von Tunnelpersonal oder VMS
<i>Zusatzbemerkung:</i> Remember: Check fuel and turn on radio before entering a tunnel!	-	<i>Zusatzbemerkung:</i> Anweisungen und Informationen des Tunnelpersonals beachten	<i>Zusatzbemerkung:</i> Remember: Check fuel and turn on radio before entering a tunnel!	-
Verhalten bei Stau (Forts.)				
EU	Tiefbauamt Graubünden	KaPo Zürich	Les routiers suisses	Deutschland (BMVBW)
Warnblinker einschalten	Seitwärts anhalten	Gasse bilden • Fahrzeug seitlich anhalten • Ereignis via Notrufsäule melden	Warnblinker einschalten	Warnblinker einschalten
Abstand halten	Sofort Motor abstellen	Radio (DRS) einschalten	Gasse bilden / Platz für Ereignisdienste lassen	Abstand halten
Motor abstellen	Fahrzeug nicht verlassen	-	Abstand halten (20-50m)	Motor abstellen bei längerer Standzeit
Radio hören	Radio einschalten	-	Motor abstellen	Verkehrshinweise im Radio oder Lautsprecherdurchsagen befolgen
Anweisungen befolgen von Tunnelpersonal oder VMS	-	-	Radio hören: Verkehrshinweise befolgen	Wechselverkehrszeichen beachten
-	-	-	Fahrzeug nicht verlassen – ausser auf polizeiliche Anordnung. Schlüssel stecken lassen	Nicht wenden. Nicht rückwärtsfahren

Zusatzbemerkung: Remember: Check fuel and turn on radio before entering a tunnel!	-	-	-	-
---	---	---	---	---

Verhalten bei Panne / Unfall				
EU	Astra	TCS/EuroTAP	Österreich	Grossbritannien
Warnblinker einschalten	-	Warnblinker einschalten	Warnblinker einschalten	Warnblinker einschalten
Fahrzeug lenken in Nothaltebucht oder auf Pannestreifen oder an Fahrbahnrand	-	Fahrzeug abstellen am Standstreifen, in einer Pannenbucht oder am Fahrbahnrand	Fahrzeug abstellen am Standstreifen, in einer Pannenbucht oder am Fahrbahnrand	-
Motor abstellen	-	Motor abstellen	Motor abstellen	Motor abstellen
Fahrzeug verlassen	-	Fahrzeug verlassen, dabei <i>auf den Verkehr achten. Warnweste tragen</i> , wenn vorhanden	Notruf betätigen	Fahrzeug verlassen
Falls erforderlich und möglich: Erste Hilfe leisten (Verletzte)	-	Rettungskräfte informieren. Dafür möglichst das Telefon der Notrufstation und nicht das Handy benutzen	Erste Hilfe leisten (Verletzte)	Falls erforderlich und möglich: Erste Hilfe leisten (Verletzte)
Hilfe rufen über Notruftelefon	-	<i>Bei Panne:</i> Im Fahrzeug auf Hilfe warten <i>Bei Unfall:</i> Erste Hilfe leisten (Verletzte)	-	Hilfe rufen über Notruftelefon
<i>Zusatzbemerkung:</i> -	-	<i>Zusatzbemerkung:</i> Anweisungen und Informationen des Tunnelpersonals beachten	-	-
Verhalten bei Panne / Unfall (Forts.)				
EU	Tiefbauamt Graubünden	KaPo Zürich	Les routiers suisses	Deutschland (BMVBW)
s.o.	-	-		Warnblinker einschalten

Verhalten bei Brand				
EU	Astra	TCS/EuroTAP	Österreich	Grossbritannien
<i>Bei Brand an eigenem Fahrzeug</i>				
Wenn möglich: Aus Tunnel herausfahren	Seitwärts anhalten	Warnblinker einschalten	Wenn möglich: Aus Tunnel herausfahren	Wenn möglich: Aus Tunnel herausfahren
Herausfahren nicht möglich: - seitlich ranfahren, - Motor abstellen, - Fahrzeug sofort verlassen	Sofort Motor abstellen	Wenn möglich: Aus Tunnel herausfahren. Nicht wenden. Nicht rückwärtsfahren.	Nur im Notfall: Fahrzeug abstellen am Standstreifen, in einer Pannen- bucht oder am Fahrbahnrand	Herausfahren nicht möglich: - seitlich ranfahren, - Motor abstellen, - Fahrzeug sofort verlassen
Hilfe rufen über Notruftelefon	Unverzüglich Fahrzeug verlassen, sich rasch vom Ereignis wegbege- ben	Herausfahren nicht möglich: Fahrzeug abstellen am Standstrei- fen, in einer Pannenbucht oder am Fahrbahnrand	Fahrzeug sofort verlassen, Schlüssel stecken lassen	Feuer löschen mit Handfeuerlöscher aus Fahrzeug oder Tunnel
Falls möglich, Feuer löschen mit Handfeuerlöscher aus dem Tunnel	-	Motor abstellen, Schlüssel stecken lassen	Brandalarm bei Notruf betätigen	Hilfe rufen über Notruftelefon
Falls erforderlich und möglich: Erste Hilfe leisten (Verletzte)	-	Rettungskräfte informieren. Dafür möglichst das Telefon der Notrufsta- tion und nicht das Handy benutzen	Falls möglich, Feuer löschen	Falls erforderlich und möglich: Erste Hilfe leisten (Verletzte)
So schnell wie möglich: Notausgang aufsuchen	-	Feuer nur im Anfangs-stadium selbst löschen. <i>Wenn Feuer nicht löschar:</i> vom Feuer weg Tunnel über Notaus- gänge verlassen	Erste Hilfe leisten (Verletzte)	-
-	-	Erste Hilfe leisten (Verletzte)	Bei Rauch flüchten über Notausgän- ge oder Portal	-

<i>Zusatzbemerkung:</i> Remember: Fire and smoke can kill – save your life, not your car!	-	<i>Zusatzbemerkungen:</i> Vergessen Sie niemals: Feuer und Rauch können tödlich sein. Retten Sie Ihr Lebens und nicht Ihr Auto oder Ihre persönlichen Gegenstände! Feuer nur im Anfangs-stadium selbst löschen. Fortgeschrittene Brände den Rettungskräften überlassen und so schnell wie möglich vom Feuer weg den Tunnel über die ausgewiesenen Notausgänge verlassen. Anweisungen und Informationen des Tunnelpersonals beachten	<i>Zusatzbemerkung:</i> Remember: Fire and smoke can kill – save your life, not your car! Ruhe bewahren und Anweisungen befolgen!	-
Verhalten bei Brand (Forts.)				
EU	Tiefbauamt Graubünden	KaPo Zürich	Les routiers suisses	Deutschland (BMVBW)
<i>Bei Brand an eigenem Fahrzeug</i>				
Wenn möglich: Aus Tunnel herausfahren	Seitwärts anhalten	Wenn möglich: Aus Tunnel herausfahren	Warnblinker einschalten	Wenn möglich: Aus Tunnel herausfahren
Herausfahren nicht möglich: - seitlich ranfahren, - Motor abstellen, - Fahrzeug sofort verlassen	Sofort Motor abstellen	-	Wenn möglich: Aus Tunnel herausfahren	Herausfahren nicht möglich: - seitlich ranfahren, - Motor abstellen, - Fahrzeug sofort verlassen
Hilfe rufen über Notruftelefon	Unverzüglich Fahrzeug verlassen und sich rasch vom Ereignis weggeben	-	Herausfahren nicht möglich: - seitlich ranfahren, - Motor abstellen, - Schlüssel stecken lassen	Hilfe rufen über Notruftelefon
Falls möglich, Feuer löschen mit Handfeuerlöscher aus dem Tunnel	-	-	Hilfe rufen über Notruftelefon	Falls erforderlich und möglich: Erste Hilfe leisten (Verletzte)
Falls erforderlich und möglich: Erste Hilfe leisten (Verletzte)	-	-	Feuer löschen mit Handfeuerlöscher (eigener oder aus Notrufstation)	Feuer löschen mit Handfeuerlöscher aus Notrufstation
So schnell wie möglich: Notausgang aufsuchen	-	-	Wenn Brand nicht zu löschen: Notausgang aufsuchen	Wenn Brand nicht zu löschen: Notausgang aufsuchen

<i>Bei Brand in anderem Fahrzeug / bei Rauch</i>				
-	-	- Motor abstellen - Schlüssel stecken lassen	- Motor abstellen, - Schlüssel stecken lassen	Nicht wenden. Nicht rückwärtsfahren
-	-	Sofort Fluchtweg suchen	Sofort Fluchtweg suchen	Verkehrshinweise im Radio oder Lautsprecherdurchsagen befolgen
-	-	Nicht wenden. Nicht rückwärtsfahren	-	Bei Feuer und Rauch zum Notaus- gang flüchten, Autoschlüssel stecken lassen
<i>Zusatzbemerkung:</i> Remember: Fire and smoke can kill – save your life, not your car!	-	-	-	-

Verhalten bei Brand - Professionals	
EU	KaPo Zürich
Warnblinker einschalten	
<i>Bei Brand an eigenem Fahrzeug</i>	
Wenn möglich: Aus Tunnel herausfahren	Wenn möglich: Aus Tunnel herausfahren
Herausfahren nicht möglich: - seitlich ranfahren, - Motor abstellen, - Schlüssel stecken lassen - Fahrzeug sofort verlassen <i>Coach drivers:</i> - Fahrgäste evakuieren in Sicherheitszone (Fluchtweg, Notausgang, Schutzraum)	
<i>Bei Brand an anderem Fahrzeug / bei Rauch</i>	
Sicherheitsabstand einhalten zum voraus-fahrenden Fahrzeug	- Motor abstellen, - Schlüssel stecken lassen
Fahrzeug am äusseren Fahrbahnrand anhalten, Gasse bilden (Einsatzkräfte)	So schnell wie möglich: Notausgang aufsuchen
- Motor abstellen, - Schlüssel stecken lassen - Fahrzeug sofort verlassen <i>Coach drivers:</i> - Fahrgäste evakuieren in Sicherheitszone (Fluchtweg, Notausgang, Schutzraum)	Nie am Brandobjekt vorbeifahren, wenn sich im Fahrzeug gefährliche Güter befinden.
Hilfe rufen ausschliesslich über Notruftelefon. Mitteilen, ob Gefahrguttransport (Typ) oder Fahrgäste (Verletzte?)	
Help direct others to safe areas	
Falls möglich, Feuer löschen mit Handfeuerlöscher aus dem Tunnel	
Falls erforderlich und möglich: Erste Hilfe leisten (Verletzte)	
So schnell wie möglich: Notausgang aufsuchen	

Zusatzbemerkung:

As a professional you should guide and help other drivers and passengers in an emergency!

Smoke and fire can kill – save yourself and your passengers not your vehicle!

I.8 Tunnelsicherheit und menschliches Verhalten Checkliste Tunnelbegehung

Grunddaten

Tunnel	
Datum	
Länge	
Anz. Röhren	
Anz. Spuren / Fahrtrichtung	
Fluchtwege wie gelöst	

Prüfpunkte

Nr.	Quelle	Prüfpunkt	Kommentar
15	A.5	Portal: Visuelle Signalisation zur Verhinderung der Einfahrt bei Ereignis (Rotlicht, "Chrzülistich").	
	A.5	Portal: Physische Verhinderung der Einfahrt bei Ereignis. (Schranke)	
	A.5	Portal: 150 – 200m vor Portal Multifunktionstafel mit Anzeige des Sperrungsgrundes.	
	A.6	Tunnel / Kommunikation: Redundante (visuell + akustisch) Information / Alarmierung der Nutzer, mit eindeutiger Aufforderung zur Evakuation.	
	A.6	Tunnel / Kommunikation: Jeder Nutzer kann Evakuations-Aufforderung unabhängig von Ausstattung seines Fz empfangen (Radio über alle Frequenzen + Lautsprecherdurchsage + Anzeigetafeln im Tunnel.)	
	A.3	SOS-Nischen: Klare Kennzeichnung, dass kein sicherer Ort. (z.B. Schild, Piktogramm, offene Bauweise, ...)	
	A.4	SOS-Nischen: Telefon ist selbsterklärend. / Nutzbar auch ohne Kenntnis der Landessprache.	
	A.4	SOS-Nischen: Beim Telefon ist der Standort im Tunnel ersichtlich.	
	A.4	SOS-Nischen: In der Nähe befindet sich ein Notausgang.	
	A.4	SOS-Nischen: Standort nächster Notausgang ersichtlich (Piktogramm).	
	A.4	SOS-Nischen: Zur Markierung des Feuerlöschers Piktogramm "Löschler mit Flammen" gut sichtbar angebracht.	

Nr.	Quelle	Prüfpunkt	Kommentar
	A.4	SOS-Nischen: Feuerlöscher sind ohne Behinderung (Zeitverlust) zugänglich.	
	A.4	SOS-Nischen: Feuerlöscher einfach bedienbar. (Aufforderung zur Nutzung?)	
	A.8	Fluchtwege: Auf beiden Fahrbahnseiten signalisiert.	
	A.8	Fluchtwege: Abstand zwischen den Fluchtwegkennzeichen maximal 25 m.	
	A.8	Fluchtwege: (Im Ereignisfall?) Hinterleuchtete Signalisation mit klaren Entfernungsangaben. Ideales Schild bei statischer Signalisation: 	
	A.8	Fluchtwege: Fluchtwegschilder auf einer Höhe von 1.0 - 1.2 m angebracht.	
	A.8	Fluchtwege: Fluchtwegschilder sollten eine Aufbauhöhe von 2-3 cm haben und grün hinterleuchtet werden.	
	A.9	Fluchtwege: Ergänzung der Signalisation durch haptische Führung entlang der Wand (z.B. Handlauf").	
	A.10	Fluchtwege: Gestaltung des Banketts so, dass keine Stolperfalle. (Höhe Bordstein, Rinne, etc.)	
	A.8	Fluchtwege: Kennzeichnung von Fluchtwegen wird im Ereignisfall erhöht. (Schnelle Auffindbarkeit der Ausgänge auch wenn auf falscher Fahrbahnseite.)	
	A.8	Fluchtwege: Im Ereignisfall nur Signalisation der richtigen Fluchtrichtung (dynamische Signalisation). Ideale Schilder bei dynamischer Signalisation: 	
	A.9	Fluchtwege: Im Ereignisfall Ergänzung der Signalisation durch selbsterklärende Sound Beacons (z.B. "Exit here").	

	A.7	Notausgänge: Sind bei einer normalen Durchfahrt durch den Tunnel sichtbar (grossflächige Markierung in Grün <u>rings um</u> die Notausgänge).	
	A.11	Notausgänge: Sind auf Anhieb als solche erkennbar.	
	A.11	Notausgänge: Tür ist grün gestrichen.	
	A.11	Notausgänge: Tür ist beleuchtet.	
	A.11	Notausgänge: Tür ist mit Person, die in Richtung des Türgriffs flüchtet, markiert.	
	A.11	Notausgänge: Zusätzliche Markierung am Boden (Pfeil in Richtung Tür)	
	A.12	Notausgänge: Ausgang ist hindernisfrei (keine Treppe).	
	A.12	Notausgänge: Türbreite ist auf lokales Verkehrsaufkommen bemessen. (z.B. Breitere oder mehr Türen bei städtischem Tunnel mit viel Busverkehr.)	
	A.12	Notausgänge: Tür funktioniert wie "normale" Tür, welche die Nutzer gewohnt sind.	
	A.12	Notausgänge: Tür ist immer unverschlossen.	
	A.12	Notausgänge: Tür lässt sich leicht öffnen.	
	A.12	Notausgänge: Tür öffnet in Fluchtrichtung.	
	A.8	Notausgänge: Kennzeichnung von Notausgängen wird im Ereignisfall erhöht. Schnelle Auffindbarkeit auch wenn auf falscher Fahrbahnseite.	
	A.11	Notausgänge: Im Ereignisfall Blitzlicht über Tür.	
	A.13	Querverbindungen: Sind mit Lautsprechersystem ausgerüstet.	
	A.13	Querverbindungen: Sind mit Notruftelefon ausgestattet.	
	A.13	Querverbindungen: Kennzeichnung, dass - kein sicherer Raum - sofort durch nächste Tür zu verlassen. (Landessprachen + Englisch.)	
	A.13	Querverbindungen: Bei zweiröhrigen Tunneln: Auf den Türen sind beleuchtete Exit-Schilder vorhanden, von gegenüberliegender Seite sofort erkenn-	

		bar.	
	A.13	Querverbindungen: Bei zweiröhri gen Tunneln: Warnung auf Tür, dass auf gegenüberliegender Seite Verkehr möglich / vorsichtig betreten.	
	A.13	Querverbindungen: Bei Rettungsstollen: Schild auf Tür zum Tunnel, dass Nutzer nicht zurückkehren sollen, ausser Betreiber fordert sie dazu auf. (Landessprachen + Englisch.)	
	A.14	Rettungsstollen: Sofort sichtbare Pfeile in Fluchtrichtung vorhanden.	
	A.14	Rettungsstollen: Häufige Wiederholung der Pfeile in Fluchtrichtung.	
	A.14	Rettungsstollen: Angabe der Entfernung bis zum Ausgang.	
	A.15	Schutzräume: Sind mit Lautsprechersystem ausgerüstet.	
	A.15	Schutzräume: Sind mit Notruftelefon ausgestattet.	
	A.15	Schutzräume: Schild im Raum mit Hinweis, dass Schutzraum sicherer Ort und dass Flüchtende auf Rettungskräfte warten sollen. (Landessprachen + Englisch.)	
	A.15	Schutzräume: Mit Trinkwasser ausgestattet.	
	A.15	Schutzräume: Mit Decken ausgestattet.	
	A.15	Schutzräume: Mit Sitzgelegenheiten ausgestattet.	

In der Schweiz sind Schutzräume verboten.

Bei Begehung nicht überprüfbar

Nr.	Quelle	Prüfpunkt	Kommentar
	A.1	Betriebszentrale: Unverzögliche Ereignis-Erfassung bezüglich Art, Lage und Ausmass des Ereignisses. (Branddetektion, Videoüberwachung)	
	A.1	Betriebszentrale: Ereignismeldung erfolgt sowohl visuell als auch akustisch.	
	A.2	Betriebszentrale: Wichtigste Massnahmen im Ereignisfall mit individuellem Knopfdruck auslösbar. (Sperrung, Alarmierung Einsatzkräfte + Nutzer, Fluchtwegsignalisation, Notausgänge, etc.	

Nr.	Quelle	Prüfpunkt	Kommentar
	A.2	Betriebszentrale: Alle Steuerungselemente für Personal in Griffdistanz.	
	A.2	Betriebszentrale: Eingrenzung der Anzeigesignale auf notwendiges Minimum für Situations-Einschätzung.	
	A.2	Betriebszentrale: Registrierte Alarmer quittierbar. (Stummschaltung)	
	B.10	Tunnel / Kommunikation: Die Information der Nutzer wird mehrfach, mind. 3 x wiederholt.	
	A.16	Tunnel / Kommunikation Tunnel ist so ausgestattet, dass Einsatzkräfte in- und ausserhalb des Tunnels untereinander und mit Betreiber effizient kommunizieren können.	
	B.10	Tunnel / Kommunikation: Nutzer werden umgehend so informiert, dass sie den Ernst der Lage realistisch einschätzen können und wissen, was sie zu tun haben. (Gefahr, Notausgänge, in welcher Richtung)	
	B.10	Tunnel / Kommunikation: Es stehen vorab aufgezeichnete deutlich und ruhig gesprochene Standardansagen zur Verfügung. (Landessprachen + Englisch) Sowohl im Tunnel als auch in Querschlägen, Schutzräumen, Rettungstollen oder zweiter Röhre.	
	B.10	Tunnel / Kommunikation: Grenzüberschreitende Tunnel: Information mindestens in den beiden Landessprachen und Englisch.	

I.9 Workshops mit Praxisexperten 2011

Zeitraumen

Gesamt: je 3 Stunden (9.00h-12.00h; 14.00h-17.00h) pro Workshop in Zürich (28.06.2011), Bern (29.06.2011) und Lausanne (30.06.2011)

Themenblock 1: Prinzipien im Ereignisfall

Ruheprinzip

In Notsituationen soll die Anzahl an Reizen beschränkt werden.

- Gilt das Ruheprinzip im Ereignisfall?
- Was heisst das konkret für die Ausstattung (allgemein). Welche Einschränkungen sollen gelten bezüglich visuellen und akustischen Reizen?

Ergebnis Workshop 1 (Zürich)

- Ruheprinzip bezieht sich nach innen auf Ruhe im eigenen Verhalten.
- Reizeinschränkung wäre wichtig in der Notsituation. In der Realität ist dies schwer umzusetzen. (Blinkende, hupende Autos, Stimmen, Lüftung, Licht – viele Reize werden bereits unabhängig von speziellen Warnsignalen ausgesendet).
- Klare, eindeutige Signale sind wichtig, damit die Tunnelnutzer Ruhe bewahren.

Ergebnis Workshop 2 (Bern)

- Ruheprinzip = Menschen zur Ruhe bringen.
- Reizüberflutung ist ein Thema. Weniger ist mehr, das bedeutet, dass nur das technisch notwendige installiert werden soll, nicht das technisch mögliche. Insbesondere bei längeren Tunnel.
- Die abgegebenen Informationen müssen präzise sein.

Ergebnis Workshop 3 (Lausanne)

- Eine Reizeinschränkung wäre gut.
- Das Ruheprinzip soll keine einschränkende Wirkung haben auf die erste Phase (Selbstrettung), die bis zum Eintreffen der Rettungskräfte andauert. Ab der zweiten Phase (ab Eintreffen Rettungskräfte) sollen Reize eingeschränkt werden. Inwieweit dies umgesetzt werden kann, ist fraglich.

Fazit

Die Experten in der Deutschschweiz sprechen sich klar für eine Einschränkung der Reize aus. Dies soll konkret mit einer Beschränkung auf das technisch Erforderliche (Minimalausstattung) umgesetzt werden. In der Westschweiz hingegen wird zwar ebenfalls eine Beschränkung auf das technisch Notwendige gefordert, der Einbezug zusätzlicher technischer Installationen zur Aktivierung der Nutzer in der frühen Phase des Tunnelbrandes wird jedoch als sinnvoll erachtet.

Aufenthaltsprinzip

Die Nutzer sollen sich bei einem Tunnelbrand in den Querschlag begeben und dort warten bis sie von den Rettungskräften abgeholt werden. Sie sollen nicht eigenständig über Rettungstollen oder eine zweite Tunnelröhre aus dem Tunnel flüchten.

- Gilt das Aufenthaltsprinzip im Ereignisfall?
- Wenn ja, wo sollen sich die Tunnelnutzer aufhalten? Wann holt wer die Wartenden ab?

Ergebnis Workshop 1 (Zürich)

Nein, das Aufenthaltsprinzip gilt nicht. Es gilt der Fluchtweg. Wartende werden abgeholt. Alle anderen gehen selbst. Prinzip der Freiwilligkeit: Es gibt keinen Zwang zum Aufenthalt.

Der Aufenthalt hätte den Vorteil, dass die Rettungskräfte den Überblick behalten, wer sich im Tunnel befindet und wo sich die zu Rettenden befinden. Im Kanton St. Gallen wurden vor den Ausgängen aus dem Rettungsstollen Sammelplätze ausgeschildert, bei denen sich die Flüchtenden sammeln sollen.

Ergebnis Workshop 2 (Bern)

Das Aufenthaltsprinzip gilt bedingt. Ein Sammelplatz ist wichtig, damit die Rettungskräfte wissen, wo die flüchtenden Nutzer sich befinden. Ob das Aufenthaltsprinzip gilt, soll abhängig sein vom Tunnelsystem (insb. Länge) und dessen Konzept. Zwei Arten von Tunneln sollen dabei unterschieden werden:

1. Tunnel mit Schutzraum. Das Aufenthaltsprinzip gilt.
2. Tunnel mit Fluchtweg. Es gilt das Fluchtprinzip.

Die Nutzer müssen z.B. durch die Signalisation im Tunnel geführt werden, so dass sie sich gemäss dem gültigen Prinzip verhalten.

Ergebnis Workshop 3 (Lausanne)

Nein, das Aufenthaltsprinzip gilt nicht aus Gründen der Sicherheit als auch aus ökonomischen Gründen. Es widerspricht dem Prinzip der Selbstrettung. Nutzer an einem Ort zum Aufenthalt zu bringen erfordert technisch komplexe Einrichtungen, die in Anschaffung und Unterhalt teuer sind. Eine Ausnahme soll jedoch gelten für Tunnelsysteme, in denen die Selbstrettung nicht oder nur sehr schwer möglich ist (sehr lange Tunnel).

Fazit

Die Teilnehmenden aller Workshops sind sich einig, dass das Aufenthaltsprinzip nicht oder nur bedingt Bestand hat. Die Gültigkeit des Prinzips ist abhängig vom Tunnelsystem, insbesondere von dessen Länge und der damit verbundenen Möglichkeit zur vollständigen Selbstrettung (lange Wege).

Themenblock 2: Information und Signalisation

Ziele

- Nutzer vor dem Portal fahren nicht in den Tunnel hinein.
- Nutzer verlässt umgehend den Wagen, begibt sich zum nächsten Notausgang, verlässt den Tunnel.

Zu vermeiden

- Nutzer wendet im Tunnel.
- Nutzer kehrt aus sicherem Bereich in den Tunnel zurück.
- Nutzer fährt in Tunnel, in dem sich ein Unfall ereignet hat, ein.

Vor dem Tunnelportal

Anforderungen

Prozesse Betreiber

Mitteilung an Nutzer über Radio (bedingt Radio-Rebroadcasting über Tunnelportal hinaus)

Technische Ausstattung Tunnel

Rotlicht

Physische Barriere (Schranke)

Multifunktionsanzeige (Wechseltext) 150-200m vor Tunnelportal

Ergebnis Workshop 1 (Zürich)

- Radio-Rebroadcasting ausserhalb des Tunnels ist technisch nicht möglich.

Ergebnis Workshop 1 (Zürich)

- Radio-Rebroadcasting ausserhalb des Tunnels ist technisch nicht möglich.
- Physische Barriere: Ja, Halbschranke. In Kombination mit Scherengitter und einer Person. Die Barriere sollte automatisch zusammen mit dem Fahrverbot aktiviert werden. Wichtig wäre, dass dies über die Verkehrslenkung gesteuert wird, nicht über die Branddetektion.
- Multifunktions-/Wechseltextanzeige: vor der letzten Ausfahrt von der Autobahn sowie allenfalls zusätzlich 150-200m vor dem Portal.
- Fixe Umleitungskonzepte als Bestandteil des Sicherheitskonzepts des Tunnels sinnvoll.

Ergebnis Workshop 2 (Bern)

- Radio-Rebroadcasting ausserhalb des Tunnels ist technisch nicht möglich.
- Physische Barriere: Ja, Halbschranke. Schrankensystem: Sowohl Halbschranke am Portal als auch im Tunnel sowie Schranke ca. 300-600 m vor dem Portal zur Schadenplatzorganisation. Ableitung ca. 500-600 m vor dem Portal. Zusätzlich: Scherengitter.
- Multifunktions-/Wechseltextanzeige: vor der letzten Ausfahrt von der Autobahn sowie allenfalls zusätzlich 150-200m vor dem Portal. Die Botschaft sollte informativen Charakter haben. Allerdings finden WTA meist nur geringe Beachtung durch Autofahrer. Im Allgemeinen funktionieren die WTA nur bei fahrendem Verkehr, nicht bei stehendem.

Ergebnis Workshop 3 (Lausanne)

- Radio-Rebroadcasting ausserhalb des Tunnels ist technisch nicht möglich.
- Physische Barriere: Ja, Halbschranken, versetzt, vor dem Portal sowie in der Anfahrtszone.
- Multifunktions-/Wechseltextanzeige (Piktogramme): in der Anfahrtszone des Tunnels. Diese sollten nur dann eingeschaltet sein, wenn es eine aktuelle Meldung gibt (Handlungsaufforderung), da die Beachtung sonst sehr gering ist.

Fazit

Radio-Rebroadcasting ausserhalb des Tunnels wird von allen Teilnehmenden als technisch nicht möglich eingestuft und daher abgelehnt. Eine physische Barriere wird von allen Teilnehmenden hingegen befürwortet. Konkret sollen Halbschranken versetzt vor dem Portal respektive im Anfahrtsbereich des Tunnels installiert werden.

Ebenso erklären die Teilnehmenden WTA/Multifunktionsanzeigen in der Anfahrtszone des Tunnels sowie ggf. im Abstand von 150-200 m vom Tunnelportal für sinnvoll.

Tunnelröhre: Nutzer im Auto

Anforderungen

Prozesse Betreiber

Mitteilung an Nutzer über Radio (solange Nutzer im Auto)

akustische Mitteilung an Nutzer über **Lautsprecher**

- Definition der Informationen (klare Handlungsanweisung)
- vorgefertigte Ansagen
- dreimalige Wiederholung

visuelle Information über **Wechseltextanzeigen / Multifunktionstafeln**

Technische Ausstattung Tunnel

Vielzahl Radiofrequenzen empfangbar (Antenne?) in Tunnelröhre

Lautsprecheranlagen

Wechseltextanzeigen oder **Multifunktionstafeln**

Ergebnis Workshop 1 (Zürich)

- Lautsprecher / Durchsage: bedingt. Wenn technische Lösung akustisch sauber, dann ist Lautsprecher gut. Heute vorliegende Lösungen überzeugen noch nicht. Durchsage: Flexible Kombination aus standardisierter Durchsage und freier Ansage. Die Durchsage sollte eine Handlungsanweisung beinhalten, z.B. Flucht ergreifen und andere mitnehmen. Lautsprecher sind heute international Standard, sie können besonders in der Anlaufphase der Ventilation eingesetzt werden (Akustik/Lärm).
- Wechseltextanzeigen / Multifunktionstafeln: Nein. Elektrotechnische, ansteuerbare Anlagen sind anfällig. Hier kein Mehrwert.
- Neu: Anzeige „Radio einschalten“. Technisch koppeln mit Schaltung Radiodurchsage.
- Neu: SMS-Prompter – nein. Radio ist ausreichend.

Ergebnis Workshop 2 (Bern)

- Lautsprecher / Durchsage: Nein. Durchsagen sind aufgrund der Akustik im Tunnel nicht verständlich. Sie sind nicht erforderlich. Sie widersprechen dem Ruheprinzip.
- Wechseltextanzeigen / Multifunktionstafeln: Nein.
- Neu: SMS-Prompter oder Anruf – ja. Die Information sollte knapp, aber eindeutig sein (Handlungsaufforderung). Die Anzahl an Anweisungen ist gering zu halten.

Ergebnis Workshop 3 (Lausanne)

- Lautsprecher / Durchsage: Nein. Technische Möglichkeiten unter ökonomischem Aspekt nicht realistisch. Priorität sollte auf die visuelle Information gesetzt werden.
- Wechseltextanzeigen / Multifunktionstafeln: Ja. Information „Evakuation“. Dies sollte ergänzt werden mit Information und Weiterbildung der Tunnelnutzer, die Verkehrssignalisation im Tunnel und auf offener Strecke zu respektieren.
- Neu: Blinklichter, die zum Notausgang führen.
- Neu: SMS-Prompter oder Anruf – ja, als Option.

Fazit

Lautsprecher werden von allen Experten abgelehnt. Ebenso werden Wechseltextanzeigen abgelehnt von den Teilnehmenden der Deutschschweiz. Die Experten der Romandie befürworten den Einsatz von WTA, auf denen die Information „Evakuation“ eingeblendet werden könnte.

Der jeweils von einem Teilnehmenden der Workshops eingebrachte Vorschlag, SMS-Prompter einzusetzen, wird sowohl von den Vertretern der Romandie als auch von den Teilnehmenden des Berner Workshops als sinnvoll erachtet, von den Teilnehmenden des Zürcher Workshops jedoch als unnötig abgelehnt.

Tunnelröhre: Nutzer auf Fluchtweg

Anforderungen

Technische Ausstattung Tunnel (Auswahl)

Fluchtwegschilder in Tunnelröhre sind **auf beiden Fahrbahnseiten**

Fluchtwegschilder in **Tunnelröhre** sind hinterleuchtet

Dynamische Signalisation

Haptische Signalisation

Akustische Signalisation

Notausgang wird zusätzlich mit **Pfeil am Boden** signalisiert

Ergebnis Workshop 1 (Zürich)

- Fluchtwegschilder: nachleuchtend. Solange der Tunnel beleuchtet ist und kein Rauch die Sicht trübt, sind hinterleuchtete Schilder nicht erforderlich. Der Mehrnutzen ist im Vergleich zu den Mehrkosten zu gering.
- Fluchtwegschilder auf beiden Seiten: Bedingt. Ein Hinweis in der Notrufsäule (vgl. Baregg Tunnel) ist sinnvoll, eine durchgehende Signalisation nicht.
- Dynamische Signalisation: nein.
- Haptische Signalisation (Handlauf): nein, auch aus Sicherheitsgründen ("Spiesswirkung" bei Kollision).
- Akustische Signalisation (Sound Beacon): Nein, Es besteht die Gefahr einer Fehlsteuerung zum nächsten Ausgang, auch wenn dieser in Richtung Rauch liegt.
- Markierung (Pfeil) am Boden: nein.
- Notausgang: Tür öffnet in Fluchtrichtung – ja, muss intuitiv und einfach zu öffnen sein. Eine mögliche Lösung wären Flügeltüren mit Druckausgleich (vgl. Isisbergtunnel). In Zürich wurden damit gute Erfahrungen gemacht. Die anspruchsvolle Mechanik von Schiebetüren (Gegengewicht) macht aufgrund von Verschmutzung häufig Probleme.

Ergebnis Workshop 2 (Bern)

- Fluchtwegschilder: nachleuchtend.
- Fluchtwegschilder auf beiden Seiten: Nein. Irreführend.
- Dynamische Signalisation: nein.
- Haptische Signalisation (Handlauf): nein. Ein Handlauf wäre gut für die Feuerwehr, für die Selbstrettung ist dies jedoch nicht erforderlich.
- Akustische Signalisation (Sound Beacon): Nein, Wirkung ist fraglich.
- Markierung (Pfeil) am Boden: Wäre gut, aufgrund der Verschmutzung und der Unterhaltsproblematik ist dies jedoch nicht möglich.
- Notausgang: Tür öffnet in Fluchtrichtung – ja, wenn sich eine technische Lösung bewährt, z.B. Flügeltür mit Druckentlastung.

Ergebnis Workshop 3 (Lausanne)

- Fluchtwegschilder: nachleuchtend.
- Fluchtwegschilder auf beiden Seiten: Nein. Irreführend. Ausnahme: wenn Notausgänge auf beiden Seiten bestehen.
- Dynamische Signalisation: bedingt – sofern die dynamische Signalisation an die Einstellung der Lüftung gekoppelt ist.
- Haptische Signalisation (Handlauf): nein. Allerdings wäre ein sogenannter Ariadnefaden denkbar.
- Akustische Signalisation (Sound Beacon): Im Zusammenhang mit dem Blitzlicht über der Tür denkbar. „Exit here“-Ruf wäre zwingend.
- Markierung (Pfeil) am Boden: Nein.
- Notausgang: Tür öffnet in Fluchtrichtung – ja, keine konkrete Vorgabe einer technischen Lösung, sondern Kriterien: einfach, wirkungsvoll, verlässlich, in Fluchtrichtung öffnend.

Fazit

Eindeutig sprechen sich alle Experten für die bestehenden nachleuchtenden Fluchtwegschilder aus. Eine Hinterleuchtung wird als nicht erforderlich erachtet. Fluchtwegschilder auf beiden Seiten werden ebenso als nicht erforderlich erachtet. Allenfalls kann optional ein Hinweis bei einer Notrufsäule angebracht werden.

Die dynamische Signalisation wird von den Deutschschweizer Experten abgelehnt. In der Romandie wird diese jedoch als sinnvoll erachtet, sofern sie an die Einstellung der Lüftung gekoppelt ist. Die haptische Signalisation in Form eines Handlaufs wird als nicht erforderlich für die Selbstrettung erachtet. Akustische Signalisation mit Sound Beacon werden tendenziell abgelehnt - von einer Gruppe werden diese ausgeschlossen, ein Gruppe würde diese unter Vorbehalt auf Eignung prüfen, eine Gruppe würde diese allenfalls installieren, jedoch zwingend mit dem Signalaruf „Exit here“.

Die Markierung am Boden wird aufgrund der Verschmutzung als nicht umsetzbar betrachtet und gilt als nicht erforderlich.

Alle Experten sprechen sich dafür aus, dass die Tür des Notausgangs in Fluchtrichtung öffnen sollte. Dabei sollen Kriterien definiert, jedoch keine konkreten technischen Lösungen vorgegeben werden.

Querschlag / Rettungsstollen

Anforderungen

Technische Ausstattung Tunnel (Auswahl)

Fluchtwegschilder im **Querschlag**, im **Rettungsstollen**, im **Schutzraum** sind

- Beleuchtet
- Nachleuchtend
- Hinterleuchtet

Lautsprecher im **Querschlag**, im **Rettungsstollen**, im **Schutzraum**

Ergebnis Workshop 1 (Zürich)

- Fluchtwegschilder: nachleuchtend.
- Lautsprecher / Durchsage. Ja. Information: Nicht in Tunnelröhre zurückkehren.
- Neu: Gegensprechanlage. Sofern eine Notrufsäule installiert ist, kann dies als gegeben angesehen werden.

Ergebnis Workshop 2 (Bern)

- Fluchtwegschilder: hinterleuchtet. Konkret muss die Beleuchtung des Raumes sichergestellt sein.
- Lautsprecher / Durchsage. In Querschlag bei Aufenthaltsprinzip nötig. Bedingt sinnvoll in Rettungsstollen bei Fluchtprinzip.
- Neu: Videoüberwachung / Videogegensprechanlage (Querschlag). Zu beachten sind dabei die Auswirkungen auf die Personalausstattung. Es müssen ausreichend Personen zur Verfügung stehen, um die Kommunikation mit den Nutzern aufrecht erhalten zu können.
- Neu: Funkempfang in allen Nebenräumen.

Ergebnis Workshop 3 (Lausanne)

Analog Aussagen zu „Tunnelröhre: Nutzer auf Fluchtweg“ (Seiten 155/156) sowie nachfolgendem „Themenblock 3: Anforderungen bei Aufenthaltsprinzip“ (Seiten 158/159).

Fazit

Bezüglich der Fluchtwegschilder sind sich die Experten einig, dass die Beleuchtung des Raumes sichergestellt sein muss, unabhängig von der technischen Lösung. Von zwei Workshop-Gruppen werden die bestehenden nachleuchtenden Schilder als zweckmässig erachtet.

Lautsprecher werden von allen Gruppen im Querschlag als erforderlich angesehen. Im Rettungsstollen werden Lautsprecher nur dann als sinnvoll angesehen, wenn das Fluchtprinzip gilt. Bei Bestand des Aufenthaltsprinzips sind Lautsprecher im Rettungsstollen nicht erforderlich.

Themenblock 3: Anforderungen bei Aufenthaltsprinzip

Mindestanforderungen gem. Fachpsychologen

- Helle Beleuchtung
- Gerade, schallschluckende Zwischendecke. Farbe: schwarz
- Wände in Pastelltönen (Miller-Pink oder hellblau)
- Sitzgelegenheiten
- Beschilderung/Infotafeln
- Lautsprecher: permanente Information der Nutzer
- Videoüberwachung
- Handyempfang
- Gegensprechanlage o.ä. Möglichkeit der Kommunikation Nutzer – Betreiber
- Trinkwasser
- Notfallkoffer
- Wolldecken

Ergebnis Workshop 1 (Zürich)

- Helle Beleuchtung: Ja
- Gerade, schallschluckende Zwischendecke. Farbe: schwarz – nicht erforderlich
- Wände in Pastelltönen (Miller-Pink oder hellblau) - nicht erforderlich
- Sitzgelegenheiten - nicht erforderlich
- Beschilderung/Infotafeln: Ja
- Lautsprecher / permanente Information der Nutzer: Ja
- Videoüberwachung: Ja
- Handyempfang - nicht erforderlich
- Gegensprechanlage o.ä. Möglichkeit der Kommunikation Nutzer – Betreiber: nicht erforderlich
- Trinkwasser: nicht erforderlich
- Notfallkoffer: nicht erforderlich
- Wolldecken: nicht erforderlich

Ergebnis Workshop 2 (Bern)

- Helle Beleuchtung: Ja.
- Gerade, schallschluckende Zwischendecke - fraglich. Farbe: schwarz – nein, unerheblich.
- Wände in Pastelltönen (Miller-Pink oder hellblau): ja, sowie alle übrigen Seitenflächen des Raumes.
- Sitzgelegenheiten: ja. Der Raum muss entsprechend dimensioniert werden, dass dies möglich ist. Derzeit sind Querschläge als Durchgang konzipiert.
- Beschilderung/Infotafeln: ja.
- Lautsprecher: permanente Information der Nutzer – ja.
- Videoüberwachung: ja
- Handyempfang: ja, sollte jedoch priorisierbar sein. Inwieweit der Handy-Empfang funktioniert ist abhängig vom Anbieter.
- Gegensprechanlage o.ä. Möglichkeit der Kommunikation Nutzer – Betreiber: ja, bevorzugt Video-Gegensprechanlage.
- Trinkwasser: ja, muss regelmässig ausgetauscht werden (Wartung).
- Notfallkoffer: ja, ggf. zusätzlich mit kleinen Sauerstoffflaschen und Masken ausstatten zur Beruhigung von Nutzern (nicht zwingend erforderlich).
- Wolldecken: ja, zumindest Decken – Material variabel.
- Neu: Ausrüstung mit Notfallmaterial sollte durch die Sanität beurteilt werden

Ergebnis Workshop 3 (Lausanne)

- Helle Beleuchtung: Ja.
- Gerade, schallschluckende Zwischendecke. Farbe: schwarz. Ja.
- Wände in Pastelltönen (Miller-Pink oder hellblau): Ja.
- Sitzgelegenheiten: Ja
- Beschilderung/Infotafeln: Ja
- Lautsprecher: permanente Information der Nutzer: Ja.
- Videoüberwachung: Ja
- Handyempfang: Ja
- Gegensprechanlage o.ä. Möglichkeit der Kommunikation Nutzer – Betreiber: Ja.
- Trinkwasser: nicht zwingend erforderlich
- Notfallkoffer: Ja
- Wolldecken: Ja

Grundsätzlich muss es sich jedoch um eine echte Sicherheitszone handeln, vergleichbar mit der Einrichtung im Mont Blanc Tunnel, in der sich Nutzer über Stunden aufhalten können/müssen. Dies entspricht jedoch nicht dem Schweizer Fluchtprinzip, das den meisten Sicherheitskonzepten zugrunde liegt.

Fazit

Sowohl die Experten des Berner als auch des Lausanner Workshops sehen die Minimalanforderungen als erforderlich und möglich an, sofern das Aufenthaltsprinzip gelten soll und in Zukunft entsprechende Sicherheitsbereiche im Tunnel konzipiert werden. Die Expertengruppe des Zürcher Workshops erkennt nur Teile der Anforderungsliste, die von Fachpsychologen zusammengestellt wurde, als sinnvoll an.

Abkürzungen

Begriff	Bedeutung
ACTEURS	Améliorer le Couplage Tunnel Equipements Usagers pour Renforcer la Sécurité Französisches Projekt zur Verbesserung der Tunnelsicherheit.
AID	Automatic Incident Detection
AFNOR	Association française de normalisation Offizielle französische Stelle für die Normung.
ANAS	Azienda Nazionale Autonoma delle Strade (Italien) "Nationale autonome Straßenbetriebsgesellschaft". Eine staatliche Gesellschaft, um das Netz von Straßen und Autobahnen, die von staatlichem Interesse sind, aufrechtzuerhalten.
APRR	Autoroutes Paris Rhin Rhône Betriebgesellschaft eines Teilgebietes der französischen Autobahnen.
ARI	Autofahrer Rundfunk Information Verkehrsfunk. Veraltetes System zur Übertragung von Verkehrsmeldungen über Radiofrequenzen. Heute ersetzt durch RDS.
ASET	available safe egress time Die zur Rettung/Evakuierung zur Verfügung stehende Zeit.
ASFINAG	Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs- Aktiengesellschaft (Österreich) Plant, finanziert, baut, erhält, betreibt und bemaute das gesamte österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz.
ASTRA	Bundesamt für Strassen (Schweiz)
ATMB	Autoroutes et Tunnel du Mont Blanc Betriebgesellschaft des Mont Blanc Tunnel (französische Seite)
BAKOM	Bundesamt für Kommunikation (Schweiz)
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Deutschland)
BRE	Building Research Establishment (Vereinigtes Königreich) Ehemals staatliche, inzwischen privatisierte Organisation, welche Forschung, Beratung und Prüfungen im Bauwesen und der bebauten Umwelt im Vereinigten Königreich durchführt.
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald, Landschaft (ab 1. Januar 2006 Bundesamt für Umwelt BAFU)
CCTV	Closed Circuit Television Videoüberwachung.
CETU	Centre d'études des tunnels (Frankreich) Ein zentraler technischer Dienst des "Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement"
EON	Enhanced Other Networks Ein Funksystem, das Verkehrsinformationen an entsprechend ausgerüstete Geräte überträgt. Ermöglicht den Empfang von Verkehrsfunk (TA), obwohl der gewählte Sender kein eigenes TA-Programm anbietet. (Automatischen Senderumschaltung für die Dauer der Verkehrsnachricht.) Bestandteil des European Radio Data Systems (RDS).
EuroTAP	European Tunnel Assessment Programm Bewertungsprogramm (Audit) der grossen europäischen Automobilclubs bezüglich der Sicherheitsniveaus der wichtigsten Strassentunnels in Europa.
FKS	Feuerwehr Koordination Schweiz
IVIS	In-Vehicle Information System z.B. Navigationsgerät, Abstandswarngerät, etc.
PEAT	Pre-evacuation activity time Zeit, in der das Ereignis subjektiv von den einzelnen Strassennutzern wahrgenommen, das Gefahrenpotential bewertet und über mögliche Handlungsoptionen entschieden wird.

PIARC	World Road Association Gemeinnützige Organisation, welche sich für eine internationale Zusammenarbeit im Bereich Straßenwesen einsetzt.
POLYCOM	Nationales Funksystem der Behörden und Organisationen für Rettung und Sicherheit (BORS), das in der Schweiz schrittweise aufgebaut wird.
RDS	Radio Data System Ein Verfahren zur Übermittlung von Zusatzinformationen im Radio. RDS-Erkennung wird hauptsächlich in Autoradios verwendet, da es durch die Übertragung der Alternativfrequenzen möglich ist, ohne Benutzereingriff automatisch die Frequenz zu wechseln und somit einem einmal eingestellten Programm zu folgen. Dies erspart das manuelle Suchen nach der neuen Frequenz, wenn das Fahrzeug auf der Fahrt den Sendebereich eines Senders verlässt.
RL	Richtlinie
RSET	required safe egress time Die zur Rettung/Evakuierung tatsächlich benötigte Zeit.
SAFE-T	Safety in Tunnels EU-Forschungsprojekt.
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition Überwachen und steuern technischer Prozesse mittels eines Computer-Systems.
SFTRF	Société française pour le tunnel routier du Fréjus Betreibergesellschaft des Fréjus Tunnels.
SIA	Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein Berufsverband. Erarbeitet mit seinen Normen, Dokumentationen und Merkblättern anerkannte Grundlagen für eine qualitativ hochstehende Berufspraxis.
SSV	Schweizerische Signalisationsverordnung Für Verkehrssignale auf der Strasse.
TA	Traffic Announcement Verkehrsmeldung (vgl. "EON").
TNO	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek) Holländische Organisation für angewandte wissenschaftliche Forschung.
TCS	Touring Club Schweiz
UPTUN	Upgrading Methods for Fire Safety in Existing Tunnels EU-Forschungsprojekt, 2001-2006.
VIS	Verkehrsinformationssystem
VMS	Variable Message Sign Multifunktionstafel.
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
WTA	Wechseltextanzeige

Literaturverzeichnis

Zitierte Literatur

Amundsen, F. H., Ranes, G. (2000)	Studies on Traffic Accidents in Norwegian Road Tunnels. In: Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 15, No. 1, pp. 3-11
Benthorn, L., Frant- zich, H. (1999)	Managing evacuating people from facilities during a fire emergency. In: Facilities, Volume 17, Number 9/10, pp. 325-330
Bergqvist, A., Frant- zich, H. Hasselroth K. und Ingason, H. (2005)	Fire and Rescue Operations in Tunnel Fires: A Discussion of some Practical Issues. In: Carvel, R., Beard, A. N.: Handbook of Tunnel Safety. London, pp. 481-504
Boer, L. C. (2002)	Behaviour by motorists on evacuation of a tunnel. TNO Report TM-02-C034, Soesterberg
Boer, L. C. (2003)	Behaviour of drivers during tunnel evacuation. In: Saveur, J. (ed.): (Re)Claiming the Underground Space. Lisse (NL), Balkema, pp. 213-217
Boer, L.C., Wijngaard- den, S.J. (2004)	Directional Sound Evacuation From Smoke-Filled Tunnels. In: Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. First International Symposium. Prague, pp. 33-41
Boer, L.C., Withington, D.J. (2004)	Auditory guidance in a smoke-filled tunnel. Ergonomics, 47 (10), pp. 1131-1140
Boer (2008)	Solving Human Behaviour Problems. ITA/COSUF Workshop, Graz
Brousse, B. (2004)	Comparison of fire safety. Problems for the various transport modes in tunnels In: Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. First International Symposium. Prague
Bryan, J.L (1999)	Human Behaviour in Fire: The Development and Maturity of a Scholarly Study Area. In: Fire and Materials 23, pp. 249-253
Bryant, K. (2002)	Who are you designing your tunnel for? In: Tunnelling and Underground Space, 17, pp. 133-137
Bundesamt für Stras- sen ASTRA (2007)	Zahlen und Fakten 2007, Jahresbericht
Bundesamt für Um- welt, Wald und Land- schaft BUWAL (eds.) (2000)	Brände in Strassentunnels - Analyse von ausgewählten Brandunfällen. Ernst Basler + Partner, Zollikon
Burns, D. (2005)	Emergency Procedures in Road Tunnelpp. Current Practice and Future Ideapp. In: Beard, A./Carvel, R.(ed.): The Handbook of Tunnel Fire Safety. London, pp. 437-450
Christ, R.,Smuc, M.,Gatscha, M.,Milanovic, M. (2002)	Analyse von Tunnelgestaltungselementen. Zusammenfassender Bericht aus Befragung und Befahrung. Wien
Cohen, A. (2004)	Risiko- und Sicherheitsverhalten. Sicherheit durch Unsicherheit. In: Psychoscope 10/2004, Dossier Verkehrspsychologie
Donald, I., Canter, D. (1992)	Intentionality and fatality during the King's Cross underground fire. In: European Journal of Social Psychology, Vol. 22, pp. 203-218
Drury, J. (2004)	No need to panic. The Psychologist, 3, pp. 118-119
Egger, M. (2005)	Recommended Behaviour of Road Tunnel Users. In: Beard, A./Carvel, R. (eds.): The Handbook of Tunnel Safety, pp. 343-353
Fargione, P., van der Tom, P., Richelle van Rijk, R.(2006)	Crisis management of rescue teams. Possibilities for training and support. UPTUN, Deliverable 3.4
Gandit, M., Kouabenan, D.R., Caroly, S. (2007)	Road-tunnel fires: Risk perception and management strategies among users. In: Safety Science 2008

Gatscha, M., Smuc, M., Schreder, G., Prantl, S., Christ, R. (2004)	Analyse von Tunnelgestaltungselementen II. Befahrung der Tunnelkette Klaus: Fahrverhaltensanalyse mit SAF, Belastungsmessung mittels HeartMan, Befragung und psychologische Testung der Versuchspersonen. Wien
Gillard, J. (1998)	Tunnel incidents: Tunnel operators and emergency services: the need for effective co-operation. In: Vardy, A. (Hrsg.): Safety in Road and Rail Tunnels. Third International Conference. Nice (F)
Groner, R., Groner, M.T., & Koga, K. (2000)	Human motion perception, eye movements, and orientation in visual space: Editorial. In: Swiss Journal of Psychology, 59, 85-88
Haack, A. (2002)	Current safety issues in traffic tunnelpp. In: Tunnelling and Underground Space Technology, 17, pp. 117-127
Höj, N.P. (2006)	Technical Report – Part 2. Fire Safe Design – road tunnels. In: Thematic Network FIT 'Fire in Tunnels'. Brüssel
Hotz, Stefan (2008)	www.nzz.ch/nachrichten/zuerich/ein_tunnel_ist_mehr_als_eine_roehre_durch_den_berg (NZZ Online vom 18.04.2008)
Huijben, Ir. J.W. (1999)	Speech Transmission by loudspeaker systems in a tunnel. Presented in Vernon, France
Koch, W. W. R., Ramirez, C. (2005)	State of the art detection, prevention and traffic management. SafeT Work package 1, Task 1.2, Report
Kouabenan, D.R., Cadet, B. (2005)	Risk evaluation and accident analysis. Advances in Psychology Research 36, pp. 61-80
Kouabenan, D.R., Gandit, M., Caroly, S. (2006)	Tunnel fire risk perception and management strategies among road users. In: www.lip.univ-savoie.fr/uploads/PDF/668.doc
Krul, A.J., Boer, L.C. (2002)	Knowledge of Emergency Provisions in Road Tunnels, Report TM-02-C08, Soesterberg, The Netherlands: TNO Human Factors
Lathauwer de, W. (2005)	Safety in Road Tunnels: Should we educate the user to the tunnel or adapt the tunnel to the user in panic? In: Word long Tunnels 2005, pp. 71-78
Leitner, A. (2001)	The fire catastrophe in the Tauern Tunnel: experience and conclusions for the Austrian guideline. In: Tunnelling and Underground Space Technology 16, pp. 217 223
Martens, M. (2005)	Human Factors Aspects in Tunnels: Tunnel User Behaviour and Tunnel Operators. In: Work Package 3. Human response. TNO Human Factors (UPTUN Deliverable 3.3)
Martens, M. (2006)	Human Behaviour in Tunnel Accidents: Users, Operators and Rescue Teams. Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. Second International Symposium, Lausanne
Martin, J-C., Delémont, O., Calisti, C. (2005)	Tunnel fire investigation II: the St Gotthard Tunnel fire, 24 October 2001. In: Beard, A./Carvel, R. (eds.): The Handbook of Tunnel Fire Safety, London, 2005
Martín, B. et al. (2005)	Recommendations for the enhancement of preventive tunnel safety. SafeT Work package 2, D2 report V2.0
Meacham, B. J. (1999)	Integrating human behavior and response issues into fire safety management of facilities. In: Facilities, Vol. 17 ., Number 9/10, pp. 303-312
Meacham, B. J. (1999)	Integrating human factors issues into engineered fire safety design. In: Fire and Materials 23, pp. 273-279
Noizet, A., Mourey, F. (2006)	ACTEURS Lot 2. Solutions pour améliorer le couplage tunnel/exploitants/usagers. Rapport de recherche. Convention n° CV 05000302. PREDIT G 04
Noizet, A. (2004/2005)	Les comportements des usagers en situation de crise en tunnel. In: Rapport de recherche n°3. Projet ACTEUR. Améliorer le Couplage Tunnels / Exploitants / Usagers pour Renforcer la Sécurité. 2005, pp. 1-36
Noizet, A., Mourey, F. (2005)	Projet ACTEURS. Les comportements des usagers en situation de crise en tunnel. Rapport de Recherche
Noizet, A. (2005)	Results of the ACTEURS project on the behaviour of tunnel users
Papaioannou, P., Georgiou, G. (2003)	Human behaviour in tunnel accidents and incidents: end-users, operators and response teams (UPTUN Deliverable 3.2)
Pauls, J. (1999)	A Personal Perspective on Research, Consulting and Codes/Standards Development in Fire-related Human Behaviour, 1969+1999, with an Emphasis on Space and Time Factors. In: FIRE AND MATERIALS Fire Mater. 23, pp. 265-272

Persson, M. (2002)	Quantitative Risk Analysis Procedure for the Fire Evacuation of a Road Tunnel. An Illustrative Example. Report 5096. Lund
PIARC (ed.) (2007a)	Guide for Organizing, Recruiting and Training Road Tunnel Operating Staff. Report of the Technical Committee C3.3 Road Tunnel Operations
PIARC (ed.) (2007b)	Integrated Approach to Road Tunnel Safety. Report of the Technical Committee C3.3 Road Tunnel Operations
PIARC (ed.) (2008a)	Human factors and road tunnel safety regarding users. Report of the Technical Committee C3.3 Road Tunnel Operations
PIARC (ed.) (2008b)	Management of the operator - Emergency teams interface in road tunnels. Report of the Technical Committee C3.3 Road Tunnel Operations
PIARC (ed.) (2008c)	Urban Road Tunnels - Recommendations to Managers and Operating Bodies for Design, Management, Operation and Maintenance. Report of the Technical Committee C3.3 Road Tunnel Operations
Quarantelli, E.L. (1999)	Disaster related social behaviour: Summary of 50 years of research findings. In: Disaster Research Center of University of Delaware (ed.): preliminary paper, #280
Quarantelli, E.L. (2002)	The sociology of Panic. In: Smelser, N.J.; Baltes, P.B. (eds): International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences. Oxford, pp. 11020-11023
Rhodes, N. und MacDonald, M. (2006)	Technical Report – Part 3. Fire Safe Design. In: Thematic Network FIT 'Fire in Tunnels'. Brüssel
Rosmuller, N., Beer, G., Gomez, R. (2005)	Evacuation and intervention management. Safe-T. Work package 3. Task 3.1, 3.2 and 3.3. D3 integrated report. Final report
Rosmuller, N. (2006)	Cross-Border Tunnel Intervention Management: Guideline Proposals for the European Union. In: Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. Second International Symposium, Lausanne, pp. 1-8."
Shields, J. (2005)	Human Behaviour in Tunnel Fires. In: Beard, A./Carvel, R. (eds.): Handbook of Tunnel Fire Safety. London, pp. 324-342
Shields, J., Boyce, K. (1995)	Emergency egress capabilities of people with mixed abilities. In: Vardy, A. (ed.): Safety in Road and Rail Tunnels. Second International Conference. Granada (ES)
Sime, J.D. (1994)	Escape behaviour in fires and evacuations. In: Stollard, P., Johnston, L. (Eds): Design Against Fire: An Introduction to Fire Safety Engineering Design. Chapman Hall, London, pp. 56-87
Sime, J.D. et al. (1992)	Human Behaviour in Fires. Research Report Number 45, Joint Committee on Fire Research, London
Sime, J.D. (1995)	Crowd Psychology and Engineering. Safety Science.21, 1-14
Steiner, W. (2008)	Gotthard-Strassentunnel. In: Tunnel und andere unterirdische Verkehrsanlagen. Technische Ausstattung, Betrieb und Sicherheit. VDI-Berichte 2019. Düsseldorf
Theeuwes, J. (1998)	Self-explaining roads: Subjective categorization of road environments. In: A. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave, & S. P. Taylor (Eds.), Vision in vehicles. Vol. 6, pp. 279–288
Trijssenaar, I., Khoury, G. A., Molag, M. (2007)	Guidelines for Tunnel Safety. SafeT Work package 7, Final report
Van Dessel, J. et al. (2006)	Fire in Tunnels. FIT Thematic Network, General Report, Brüssel
Vardy, A., Wright, K. (1998)	Emergency procedures and moral dilemmas. In: Vardy, A. (ed.): Safety in Road and Rail Tunnels. Third International Conference. Nice (F)
Vashitz, G., Shinar, D., Blum, Y.(2008)	In-vehicle information systems to improve traffic safety in road tunnelpp. In: Transportation Research 11, pp. 61-74
Voeltzel, A., Dix, A. (2004)	A Comparative Analysis of the Mont Blanc, Tauern and Gotthard tunnel fires. In: PIARC (ed.): Roads - N° 324, pp. 18-34
Waltl, A. (2008)	Betrieb sicherheitstechnischer Tunnelanlagen. Erfahrungen aus dem Betrieb und weitere Entwicklungen von elektro- und maschinellen Ausrüstungen. In: Tunnel und andere unterirdische Verkehrsanlagen. Technische Ausstattung, Betrieb und Sicherheit. VDI-Berichte 2019. Düsseldorf
Wenker, O.C., Wenker, E.B. (2000)	Train Fire in Zurich Switzerland. In: The Internet Journal of Disaster Medicine. 2000 Volume 1 Number 1
Withington, D. (2001)	Life saving applications of directional sound. In: M. Schreckenberg & S.D. Sharma (Eds.): Pedestrian and evacuation dynamics. Berlin, pp. 227-296

Yoshimori, T., Morimoto, T., Watanabe, Y. (1998)	Crisis Management of operation for long road tunnels. In: Vardy, A. (Hrsg.): Safety in Road and Rail Tunnels. Third International Conference. Nice
Yoshimori, T., Takahiro, A., Shin'ichiro, A. (1995)	JH Tunnel Exhibition Hall. In: Vardy, A. (Hrsg.): Safety in Road and Rail Tunnels. Second International Conference. Granada (ES)
Zografos, K. G., Androutsopoulos, K. N. (2006)	Development and Implementation of an integrated Tunnel Safety Management System. In: Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. Second International Symposium, Lausanne, pp. 1-8

Ergänzende Literatur:

-
- Aboyer, A., Andersen, State-of-the-art Tunnel Safety. In: Int. J. Emergency Management, Vol. 4, No. 4, pp. 610-629, Wybo, J. (2007)
-
- Arends, B.J., Jonk- Evaluation of tunnel safety: towards an economic safety optimum. In: Reliability Engineering and System Safety, pp. 217–228
mana, S.N., Vrijlinga, J.K. und van Geldera, P.H.A.J.M (2005)
-
- Arnold, J. und Gratzel, Interdisziplinäre Zusammenarbeit bei komplexen Verkehrsunfällen. In: Borghi, W. (2003) M./Perugini, A. (eds.): Gestione di una catastrofe e responsabilità. 2003
-
- Arthur, P., Passini, R. Wayfinding: People, Signs and Architecture, McGraw Hill, New York (1992)
-
- Baltzer, W. (2008) Überwachung und Betrieb von Strassentunneln im Fokus von Selbst- und Fremddrettung. In: Tunnel und andere unterirdische Verkehrsanlagen. Technische Ausstattung, Betrieb und Sicherheit. Tagung Berlin, 11.-12. März 2008. VDI-Berichte 2019
-
- Baltzer, W. et al. (2004) Ausgestaltung von Brand-Notbeleuchtung und Leitsystemen zur Fluchtwegkennzeichnung in Strassentunneln - Systematik der Leitsysteme. In: Bundesamt für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen, Abt. Strassenbau, Strassenverkehr (ed.): Forschung. Strassenbau und Verkehrstechnik, Heft 892
-
- Beard, A. (2008) Fire Safety in Tunnels. In: Fire Safety Journal, in press
-
- Beard, A. und Cope, D. (2007) Assessment of the Safety of Tunnels. Study. Science and Technology Options Assessment S T O A. European Parliament. Brussels
-
- Beer, G. (2006) Virtual Training. In: Safe and Reliable Tunnels. Innovative European Achievements Second International Symposium, Lausanne
-
- Bendelius, A.: (2004) The latest PIARC road tunnel fire and smoke control publications. In: PIARC (ed.): ROADS - N° 324, pp. 52-63f
-
- Bendelius, A.G. (2002) Tunnel fire and life safety within the world road association (PIARC). In: Tunnelling and Underground Space Technology 17, pp. 159-161
-
- Both, C. und Wolsink, G.M. (2003) Spalling of concrete tunnel linings in Fire. In: Saveur, J. (ed.): (Re-)Claiming the Underground Space. Lisse (NL), Balkema, pp. 227-231
-
- Brekelmans, J. und van den Bosch, R. (ed.) (2003) Runehamar Tunnel in Norway. Summary of Large Scale Fire Tests in the conducted in association with the UPTUN Research Program
-
- Brekelmans, J.W. (2003) Tunnel Safety-Related Research Projects and Networks funded by the European Commission
-
- Brignolo, R., Carrea, P., Sala, G. (2003) Dissemination and Use Plan. Safe Tunnels, IST-2000-28099, Innovative systems and frameworks for enhancing of traffic safety in road tunnels, D07.01
-
- Brousse, B. et al. (2006) Technical Report – Part 2. Fire Safe Design. Thematic Network FIT 'Fire in Tunnels'. Brüssel
-
- Brux, G. (2008) Sicherheit in Straßentunneln. In: Sicherheit in Straßentunneln. Tunnel 4, pp. 72-79
-
- Bundesamt für Strassen ASTRA (ed.) (2000) Tunnel Task Force. Schlussbericht. Bern
-
- Bundesministerium für Sicheres Fahren in Strassentunneln, Wien
Verkehr, Innovation und Technologie BMV (ed.)
-
- Bundesministerium für Brandschutz in Verkehrstunneln. Schlussbericht. Bonn
Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (ed.) (2000)
-
- Bundesministerium für Sicherheit geht vor – Straßentunnel in Deutschland Informationen für Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer. Bonn
Wohnungswesen, Abt. Straßenbau, Straßenverkehr (ed.) (2004)
-

Bundesrat (2002)	Tunnel Task Force 2000
Canter, D. (ed.) (1980)	Fires and human behaviour. Chichester
Chatziastros, A. (Dr.) und Mühlberger, A. (Dr.) (2003)	Tunnelsimulationen gegen Monotonie und Angst. In: Tunnel 7, pp. 12-18
Close, K.R. (2005)	Fire Behavior vs. Human Behavior: Why the Lessons from Cramer Matter. Eighth International Wildland Fire Safety Summit, April 26-28, Missoula, MT
Colonna, G. und Fioretti, G. (2003)	The involvement of the public in planning and evaluating tunnel interventions on transportation networks. In: Saveur, J. (ed.): (Re-)Claiming the Underground Space. Lisse (NL), Balkema, pp. 249-250
D'Alessio, C., Matarese, F., Neri, I. (2005)	Tunnel accident data and review of accident investigation methodologies. SafeT Work package 4, D4.5 report, First Deliverable to EU, Part I
De Dobbeleer, W., Nathanail, T.	CAST campaigns. CAST Final Conference 26-27 January 2009, Brussels
Delhomme, P., De Dobbeleer, W., Forward, S., Simoes, A.	How to build a successful campaign? CAST recommendations to design and implement road safety campaigns. CAST Final Conference 26-27 January 2009, Brussels
Drury, H., Cocking, C. (2007)	The mass psychology of disasters and emergency evacuations: A research report and implications for practice. Mass psychology of disasters and emergency evacuations
Eberbach, K. et al (2007)	Ausgestaltung von Brand-Notbeleuchtung und Leitsystemen zur Fluchtwegkennzeichnung in Strassentunneln - Anforderungen an die Ausführung. In: Bundesamt für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abt. Strassenbau, Strassenverkehr (ed.): Forschung. Strassenbau und Verkehrstechnik, Heft 975
Eberl, G. (2007)	Best Practices in Austria. Vortrag anlässlich IBTTA 27th Annual Meeting & Exhibition: Tolling The Art of the Possible, Wien, 7.-10. Oktober 2007
ESCOTA (2009)	Tunnels plus surs
Euro Tap und TCS	Lebensretter im Tunnel
Europäische Kommission, Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften (ed.) (2007)	RP7 in Kürze. Wie man sich am 7. Rahmenprogramm für Forschung der EU beteiligen kann. Luxemburg
European Commission Directorate-General for Energy and Transport (ed.) (2002)	European Union Road Federation: Safety equipment in road tunnels. Brüssel
European Commission Directorate-General for Energy and Transport	Safe driving in road tunnels for professionals. Tips for truck and coach drivers. Brüssel
Ewert, U. et al. (2004)	Dossier Verkehrspsychologie. In: Psychoscope 10/2004
Federal Highway Administration FHWA (ed.) (2005)	International Technology Scanning Program: Underground Transportation Systems in Europe: Safety, Operations, and Emergency Response
Federal Highway Administration FHWA (ed.) (2003)	Recommendations for Bridge and Tunnel Security. Blue Ribbon Panel on Bridge and Tunnel Security
Forward, S.	Theoretical Models that describe and predict road violations. CAST Final Conference, 26-27 January 2009, Brussels
Frantzych, H., Nilsson, D. (2004)	Evacuation experiments in a smoke filled tunnel. 3rd international symposium on Human Behaviour in Fires, Belfast
Gabay, D. (2006)	Technical Report – Part 2. Fire Safe Design – metro tunnels. In: Thematic Network FIT 'Fire in Tunnels'. Brüssel
Garetto, C. (2003)	Moving Spot Light System feasibility study. Safe Tunnels, IST-2000-28099, Innovative Systems and Frameworks for enhancing of traffic safety in road tunnels, D3.06
Groner, M. (2001)	Wahrnehmung. In: Bundesamt für Strassen, Abt. Strassenverkehr: Notwendigkeit und Zweckmässigkeit von besonderen Markierungen, Neuchâtel und Herzogenbuchsee

Haack, A., STUVA (2006a)	Technical Report – Part 1. Design Fire Scenarios. Thematic Network FIT 'Fire in Tunnels'. Brüssel
Haack, A. (2006b)	ITA-COSUF work programme. In: Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. 1 Second International Symposium, Lausanne
Hak, K. K., Lönnermark, A., Ingason, A. (2007)	Comparison and Review of Safety Design Guidelines for Road Tunnels. In: SP Report 2007: 08
Hall, J. R. (2000)	Overview of research on people and fire in the U.S. In: Bryner, S. L. (ed.): Fifteenth Meeting of the UJNR Panel on Fire Research and Safety. Vol. 1, NISTIR 6588
Hegetschweiler, D. (2003)	Sicherheit in Strassentunnels, z.B. Baregg. Neue Sicherheitsaspekte in der Projektierung der Ausrüstung von Strassentunnels. Richtlinien des ASTRA. ETG Informationstagung, Mai 2003 in Baden
Holický, M. (2007)	Risk criteria for road tunnels. Special Workshop on Risk Acceptance and Risk Communication. March 26-27, 2007, Stanford University
Hubacher, M., Salvisberg, U. (Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu) (2006)	Einflussfaktoren für die Sicherheit von Strassentunnels. http://psydok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2006/707/index.html Zuletzt angesehen 11.02.2008
Huey, R.W., Buckley, D.S., Lerner, N.D. (1994)	Audible performance of smoke alarm sounds. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 38th Annual Meeting, pp. 147-151
Huijben, Ir. J.W., (2002)	Test on Fire Detection System and Sprinkler in a Tunnel. In: Tests on Fire Detection and Bouwdienst RijkswaterSprinkler. ITC Conference Basel 2-4
Huljben, J.W. (1999)	Speech transmission in a tunnel during a calamity with fire. Int. Conf. on Fire Security in Hazardous enclosed Spaces. Vernon, France
Ingason, H., Lönnermark, A. (2004)	Recent Achievements Regarding Measuring of Time-heat and Time-temperature Development in Tunnels. In: Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. First International Symposium, Prague, pp. 87-96
Ingason, H. (2006)	Design fires in tunnels. In: Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. Second International Symposium. Lausanne
Ingason, H., Wickström, U. (2006)	The international FORUM of fire research directors: A position paper on future actions for improving road tunnel fire safety. In: Fire Safety Journal 41, pp. 111-114
Khoury, A. (2003)	EU tunnel fire safety action. In: Tunnels & Tunnelling International, April 2003, pp. 20-23
Khoury, A. et al. (2006a)	The Global Approach to Safety. In: Tunnels & Tunnelling International
Khoury, A., Molag, M. (2006b)	Harmonised European Guidelines for Tunnel Safety. SafeT Work package 7.0, Project Outline
Khoury, A. et al. (2006c)	Harmonised European Guidelines for Tunnel Safety. SafeT Work package 7.1, Global Approach to Tunnel Safety
Khoury, G. A. (2008)	Common SafeT/Uptun Safety Philosophy leading to the global approach to tunnel safety
Kirkland C.J. (2002)	The fire in the Channel Tunnel. Halcrow Consulting Engineers
Knoflacher H. und Pfaffenbichler P. C. (2004)	A comparative risk analysis for selected Austrian tunnels. In: International Conference „Tunnel Safety and Ventilation“. Graz
Koerberlein, K. (2005)	Harmonised risk assessment. SafeT Work package 5, Task 5.2., D 5.2 report, First Deliverable to EU
Krausmann, E., Mush-taq, F. (2005)	Analysis of tunnel-accident data and recommendations for data collection and accident investigation. SafeT, Work package 4, D4.5 report, First Deliverable to EU, Part II
Kumar. S. (2004)	Recent achievements in modelling the transport of smoke and toxic gases in tunnel fires. In: Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. First International Symposium, Prague, pp. 97-105."
Lacroix, D., Haack, Alfred (2004)	PIARC design criteria for resistance to fire for road tunnel structures. In: PIARC (ed.): ROADS, N° 324, pp. 64-71

Large Scale Underground Research Facility on Safety & Security (2007)	Sixth Framework Programme Structuring the European Research Area Specific Programme Research Infrastructures Action
Lavedrine, S., Baudet, L. (2009)	Adapting Road Tunnel Safety Devices to the Users. In: B118
Law, K. H., Dauber, K. (2005)	Computational Modeling of Nonadaptive Crowd Behaviors for Egress Analysis: 2004- und Pan, X. (Center for Integrated Facility Engineering CIFE) 2005 CIFE Seed Project Report
Lavedrine, S., Baudet, L. (2009)	Adapting Road Tunnel Safety Devices to the Users. In: B118
Law, K. H., Dauber, K. (2005)	Computational Modeling of Nonadaptive Crowd Behaviors for Egress Analysis: 2004- und Pan, X. (Center for Integrated Facility Engineering CIFE) 2005 CIFE Seed Project Report
Liu, Z. G. et al. (2006)	Challenges for Use of Fixed Fire Suppression Systems in Road Tunnel Fire Protection. Fire Research Program, Ottawa
Lönnermark, A. (2005)	On the Characteristics of Fires in Tunnels. Lund
Manser, M. P., Hancock, P. A. (2007)	The influence of perceptual speed regulation on speed perception, choice, and control. Tunnel wall characteristics and influence. In: Accident Analysis and Prevention, 39, pp. 69-78
Marqués, A. und Serran, M. (2006)	Decision Support for Emergency in Roads. In: Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. Second International Symposium. Lausanne
Mashimo, H. (2002)	State of the Road Tunnel Safety Technology in Japan
Mayer, B. et al. (2004)	ANNEX-Tunnel. Safety impact and user acceptance analysis. Safe Tunnel, Information Society Technologies: Systems and Services for the Citizen. Project IST - 2000-28029, Deliverable No. D0604, version 1.1
Mayer, B. et al. (2004)	Tunnel Safety impact and user acceptance analysis. Safe Tunnel, Information Society Technologies: Systems and Services for the Citizen. Project IST – 2000 – 28099, Deliverable No. D06.04, version 1.1
McKernan, G. (2009)	Emergency Management and how it Worked Melbourne Citylink. In: Tunnel Safety Forum for Road and Rail. Second International Conference, 20.-22. April, Lyon, France
Meier, H. (2009)	Betriebs- und Sicherheitskonzept. In: Kanton Zürich et al. (Hrsg.): Direkt um Zürich. A3 Westumfahrung Zürich und A4 im Knonaueramt
Micolitti, G. (2006)	Technical Report – Part 2. Fire Safe Design – rail tunnels. In: Thematic Network FIT 'Fire in Tunnels'. Brüssel
Mihm, J. et al. (2003)	Draft Evaluation Plan. SAFE TUNNEL Information Society Technologies: Systems and Services for the Citizen. Project ST – 2000 - 28099, Deliverable No. D06.01, version 1.4
Mihm, J. et al. (2003)	User Needs Analysis. In: SAFE TUNNEL Information Society Technologies: Systems and Services for the Citizen. Project IST – 2000 - 28099, Deliverable No. D02.02, version 1.2
Modic, J. (2003)	Fire simulation in road tunnels. In: Tunneling and Underground Space Technology 18, pp. 525-530
Molag, M., Trijsenaar-Buhre, I.J.M. (TNO) (2006)	Risk Assessment Guidelines for Tunnels. In: Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. Second International Symposium, Lausanne, pp. 1-10
Mühlhauser, I. (2003)	Tunnelwelten. Annäherung an die Gestaltungsmöglichkeiten von Strassentunneln. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie bmvit (ed.): Forschungsarbeiten aus dem Verkehrswesen, Band 128, Wien 2003
Muncke, M., Zuber, P. (2004)	Safety in Railway Tunnels: Current UIC Recommendations and European Regulations. In: PIARC (ed.): ROADS - N° 324. pp. 90-104
National Cooperative Highway Research Program (ed.) (2006)	TCRP REPORT 86/NCHRP REPORT 525. In: Transportation Security. Volume 12: Making Transportation Tunnels Safe and Secure

Nilsson, D., Johansson, M., Frantzich, H. (2009)	Evacuation experiment in a road tunnel: A study of human behaviour and technical installations. <i>Fire Safety Journal</i> , Vol. 44, 458-468
Nilsson, D. (2009)	Exit choice in Fire Emergencies. Influencing choice of exits with flashing lights. Doctoral Thesis, Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety Lund University
OECD (ed.) (2006)	Norway. Tunnel Safety. In: OECD Studies in Risk Management. www.oecd.org
OECD/PIARC (ed.) (2001)	ERS2 "Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels". Technical Report of Mission 2
OECD/PIARC (ed.) (2001)	Safety in Tunnels. Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels. HIGHLIGHTS. Paris
Opstad, K., J.P. Stensaas (2006)	Fire mitigation measures. In: Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. Second International Symposium, Lausanne
Perry, R.W., Lindell, M.K., Greene, M.R. (1982)	Threat perception and public response to volcano hazard. <i>Journal of Social Psychology</i> , 110; S. 199-204
Pfaffenbichler, P.C. (2008)	Verkehrssicherheit Strassentunnel - Quantitative Risikoanalyse
PIARC (2005)	Recommendations on tunnel design and signalling with regard to human behaviour. Report of the PIARC Technical Committee C 3.3. Road Tunnel Operations (2nd Draft)
PIARC (ed.) (2007c)	Systems and Equipment for Fire and Smoke Control in Road Tunnels. Report of the Technical Committee C3.3 Road Tunnel Operations
PIARC (ed.) (2007d)	Road Tunnels: An Assessment of Fixed Fire Fighting Systemx. Report of the Technical Committee C3.3 Road Tunnel Operations
Pospisil, P., Di Miele, A. (2007)	Auslegung der Tunnellüftung. D3 Tunnel Polana A.
Proulx, G. (1999)	How to initiate evacuation movement in public buildings. <i>Facilities</i> , Vol 17, pp. 331-335
Proulx, G. (2001)	Occupant Behaviour and Evacuation. In: Proceedings of the 9th International Fire Protection Symposium, Munich, May 25-26, 2001, pp. 219-232
Proulx, G., Sime J.D. (1991)	To prevent panic in an underground emergency: why not tell people the truth? <i>Fire Safety Science – Proceedings of the Third International Symposium</i> , Elsevier Applied Science: New York,; 843-852
Quarantelli, E. L. (1993)	Human and Group Behaviour in the Emergency Period of Disasters: Now and in the Future. In: Disaster Research Center of University of Delaware (ed.): preliminary paper, #196
Rasmussen, J. (1986)	Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering. Amsterdam
Reason, James (2003)	Human Error. Cambridge: Cambridge University Press
Rigter, B. P. (2005)	Experiences with automatic fire extinguishing devices in Dutch road and rail tunnels. In: 3rd International Conference – Traffic and Safety in Road Tunnels. Hamburg
Rostam, S., Hoi, N. P. (2006)	Optimal Design of Tunnels. Experience from and for Practice. In: Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements
RTA (ed.) (2004)	Electrostatic precipitators and ventilation in road tunnels in Japan. Report of a visit by a delegation from the NSW. Roads and Traffic Authority to Japan from 30 September – 10 October 2003
Saccomanno, F., Haastrupp, P. (2002)	Influence of Safety Measures on the Risks of Transporting Dangerous Goods through Road Tunnels. In: <i>Risk Analysis</i> , Vol. 22, No 6, pp. 1059-1069
Safe Tunnels (ed.) (2003)	Functional description of SAFE TUNNEL concept – Release 7.0. Safe Tunnels IST–2000-28099, Innovative systems and frameworks for enhancing of traffic safety in road tunnels, Deliverable N°: D2.04
Safe Tunnels (ed.) (2003)	Report about functional tests. Safe Tunnels IST–2000-28099, Innovative Systems and Frameworks for enhancing of traffic safety in road tunnels, Deliverable N°: D05.01
Safe Tunnels (ed.) (2003)	Report about validation and complementary tests. Safe Tunnels IST–2000-28099, Innovative Systems and Frameworks for enhancing of traffic safety in road tunnels, Deliverable N°: D05.02

Safe Tunnels (ed.) (2003)	System Architecture Description. Safe Tunnels IST–2000-28099, Innovative Systems and Frameworks for enhancing of traffic safety in road tunnels. Deliverable N°: D03.01
Safe Tunnels (ed.) (2003)	Tunnel Control and Enforcement Strategy. ANNEX 1. Technologies for Enforcement. Safe Tunnels IST–2000-28099, Innovative Systems and Frameworks for enhancing of traffic safety in road tunnels. Deliverable N°: D02.03
Safe Tunnels (ed.) (2003)	Tunnel Control and Enforcement Strategy. ANNEX 2. Emergency Management at Frejus Tunnel. Safe Tunnels IST–2000-28099, Innovative Systems and Frameworks for enhancing of traffic safety in road tunnels. Deliverable N°: D02.03
Safe Tunnels (ed.) (2003)	Tunnel Control and Enforcement Strategy. ANNEX 3. Emergency information to the driver. Safe Tunnels IST–2000-28099, Innovative Systems and Frameworks for enhancing of traffic safety in road tunnels. Deliverable N°: D02.03
Safe Tunnels (ed.) (2003)	Tunnel Control and Enforcement Strategy. Safe Tunnels IST–2000-28099, Innovative Systems and Frameworks for enhancing of traffic safety in road tunnels. Deliverable N°: D02.03
Salvisberg, U., Allenbach, R., Hubacher, M., Cavegn, M. & Siegrist, S. (2004)	Verkehrssicherheit in Autobahn- und Autostrassentunneln des Nationalstrassennetzes. bfu-Report Nr. 51, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu, Bern
Saveur, J. (ed.)	(Re-)Claiming the Underground Space. Lisse (NL), Balkema
Serrano, J.M., Blennemann, F. (1992)	Motorist Behaviour Study for the Gibraltar Road Tunnel, Tunnelling and Underground Space Technology, 7 (1): 9-18
Sime, J.D. (1980)	The concept of panic. In: D. Canter (Ed.): Fires and Human Behaviour. Chichester, pp. 63-81
Sime, J.D., Kimura, M. (1988)	The timing of escape: exit choice behaviour in fires and building evacuation. In: Sime, J.D. (Ed.): Safety in Built Environment (pp 48-61), London: E.&F.N. Spon
SIRTAKI (ed.) (2004)	Final Report. Covering Report 1.9.2001 bis 31.12.2004
Society of Fire Protection Engineers (ed.) (2002)	SFPE Engineering Guide to Human Behaviour in Fire: NFPA, Quincy, MA
Stroeks, R. (2001)	Sprinklers in Japanese Road Tunnels. Final Report
SUPREME (ed.) (2007)	Institutional Organisation of Road Safety. Summary and Publication of Best Practices in Road Safety in the Member States
SUPREME (ed.) (2007)	List of measures collected. Summary and Publication of Best Practices in Road Safety in the Member States
SUPREME (ed.) (2007)	METHODOLOGY. Summary and Publication of Best Practices in Road Safety in the Member States
SUPREME (ed.) (2007)	Post Accident Care. Summary and Publication of Best Practices in Road Safety in the Member States
SUPREME (ed.) (2007)	Statistics and Depth Analysis. Summary and Publication of Best Practices in Road Safety in the Member States
SUPREME (ed.) (2007)	Thematic Report. Enforcement. Summary and Publication of Best Practices in Road Safety in the Member States
SUPREME (ed.) (2007)	Thematic Report: Driver Education, Training & Licencing. Summary and Publication of Best Practices in Road Safety in the Member States
SUPREME (ed.) (2007)	Thematic Report: Education and Campaigns. Summary and Publication of Best Practices in Road Safety in the Member States
SUPREME (ed.) (2007)	Thematic Report: Infrastructure. Summary and Publication of Best Practices in Road Safety in the Member States
SUPREME (ed.) (2007)	Thematic Report: Rehabilitation and Diagnostics. Summary and Publication of Best Practices in Road Safety in the Member States
SUPREME (ed.) (2007)	Thematic Report: Vehicles. Summary and Publication of Best Practices in Road Safety in the Member States
Tang, C-h., Wu, W-T., Lin, C-Y. (2009)	Using virtual reality to determine how emergency signs facilitate way-finding. Applied Ergonomics, Vol 40, 722-730
Thamm, B. (2003)	Richtiges Verhalten der Tunnelnutzer rettet Menschenleben, Schlussbericht 5. AD-AC/BASt-Symposium 7.-8.Oktober 2003, Wiesbaden, pp. 82-86

Thamm, B. (2004)	The New Directive 2004/54/EC on Road Tunnel Safety. In: PIARC (ed.): ROADS - N° 324, pp. 90-98
The Tunnels Manager. Safe Driving in the Tyne Tunnel Tyne Tunnels Walls- end Tyne & Wear (ed.)	
Theeuwes, J. (2000)	Commentary on Räsänen and Summala, "Car Drivers' Adjustments to Cyclists at Roundabouts". Pp. 19-22
Theeuwes, J., & Godthelp, H. (1995)	Self-explaining roads. Safety Science, 19, pp. 217–225
TNO Traffic and Transport (2002)	A better view for safe driving, Tunnel design and driving behaviour, Traffic Matters. Delft
Törnros, J. (1998)	Driving behaviour in a real and a simulated road tunnel - a validation study. In: <i>Accid. Anal. and Prev.</i> , Vol. 30, No. 4, pp. 497–503
Törnros, J. (1998)	Driving behaviour in a real and a simulated road tunnel – a validation study. In: <i>Accident Analysis and Prevention</i> , 30 (4), pp. 497-503
Trijssenaar-Buhre, I.J.M, Wijnant-Timmerman, S.I. (2004)	Harmonised risk assessment. SafeT Work package 5, Task 5.1. D5.1 report, First Deliverable to EU
Trijssenaar-Buhre, I. et al. (2005)	Current Practice in Tunnel Safety. SafeT Work package 1, Report
Trottet, Y., Vernez, D., Jufer, M. (1999)	Analyse de risques lors d'accidents en tunnels. Rapport F2 du PNR41 "Transport et environnement"
TUST-Editorial Committee of JTA, Koyama (2003)	Status of tunnels and tunnelling in Japan. In: <i>Tunnelling and Underground Space Technology</i> 18, pp. 113–114
Twisk, D. (2009)	What is it about you, that you act so dangerously? CAST Final Conference, 26-27 January 2009, Brussels
Vaa, T., Phillips, R., Ulleberg, P. (2009)	Do road safety campaigns work? Effects of campaigns on behaviour and accidents. CAST Final Conference, 26-27 January 2009, Brussels
Van Manen, S. E. (2004)	Key Elements in Future Tunnel Designs: Hazards as a Specific Design Issue. In: <i>Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements. First International Symposium</i> , Prague, pp. 211-216
VDI (ed.) (2008)	Tunnel und andere unterirdische Verkehrsanlagen. Technische Ausstattung, Betrieb und Sicherheit. In: <i>VDI-Berichte 2019</i> . Düsseldorf
Vrouwenvelder, A.C.W.M. und Krom, A.H.M. (2004)	Hazards and the consequences for tunnel structures and human life. In: <i>Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements</i>
Vuilleumier, F., Weatherill, A., Crausaz, B. (2002)	Safety aspects of railway and road tunnel: example of the Lötschberg railway tunnel and Mont-Blanc road tunnel, <i>Tunneling and Underground Space Technology</i> 17, pp. 153-158
Worm, I. E. (2006)	Human Behaviour Influencing Tunnel Safety. Report of the PIARC working group C 3.3. on "Human Factors of Road Tunnel Safety", Available on www.piarc.org

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

ARAMIS SBT

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am:

Grunddaten

Projekt-Nr.:

Projekttitel:

Enddatum:

Projektleiter

Name: Vorname:

Amt, Firma, Institut:

Strasse, Nr.:

PLZ: Email:

Ort: Telefon:

Kanton, Land: Fax:

Texte:

Zusammenfassung der
Projektresultate:

Die technischen Normen und Richtlinien sowie die Betriebsabläufe berücksichtigen die menschlichen Bedürfnisse und das menschliche Verhalten im Tunnel zu wenig. Handlungsbedarf besteht insbesondere bei der Information der Nutzer im Tunnel, der Signalisation des Fluchtwegs, der Regelung zu Türen am Notausgang sowie der Tunnelsperrung.

Inhaltlich unterscheiden sich die empfohlenen Massnahmen zwischen Literatur und Praxis zum Teil beträchtlich. Während in der Literatur eine umfangreichere Liste an technischen Massnahmen und Ausstattung gefordert wird, tendieren die Praxisexperten zu einer schlankeren Tunnelausstattung basierend auf dem Status Quo. Sie begründen dies mit dem Ruheprinzip. Das Aufenthaltsprinzip ist aus Sicht der Praxisexperten für lange Tunnels denkbar.

Die Ergebnisse von Literaturanalyse und Praxisexperten wurden aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht bewertet und Empfehlungen für die Anforderung an die Tunnelausstattung erarbeitet. Konkret muss der Tunnel im Ereignisfall selbst sprechen d.h. sämtliche Sicherheitseinrichtungen und das dahinter stehende Konzept müssen selbsterklärend sein. Es kann nicht auf Vorwissen der Tunnelnutzer gesetzt werden. Es müssen konkrete Handlungsanweisungen an die Tunnelnutzer abgegeben werden. Diese müssen eindeutig sein und erfolgen idealerweise über mehrere Kanäle (visuell, akustisch, etc.).



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Das Ziel, Entscheidungsgrundlagen für die Berücksichtigung menschlichen Verhaltens bereitzustellen zu können, wurde erreicht. Das Projekt liefert Informationen und Empfehlungen, die auf einer umfassenden Literaturrecherche und auf mehreren Expertenworkshops basieren. Es zeigt auf, wie kontrovers einige Massnahmen, die gemäss Normen in einem Strassentunnel anzubringen sind, diskutiert werden. Der Bedarf an weiteren, (noch) nicht in Normen verankerten Massnahmen, wird in einigen Fällen sehr unterschiedlich beurteilt.

Folgerungen und
Empfehlungen:

Es wird empfohlen, die Ergebnisse des Forschungsprojekts mit Bezug zu Tunnelausstattung und Organisation zur weiteren Bearbeitung an die Normierungsstelle weiterzuleiten. Ebenso sollten diese auf bestehenden Informations- und Veranstaltungsplattformen präsentiert und diskutiert werden.

Die Ergebnisse des Projekts zeigen eine starke Fokussierung auf das Medium Radio zur Information der Nutzer über die Gefahrensituation. Dies wird sowohl in der Literatur als auch von einigen Praxisexperten als problematisch beurteilt, da eine Vielzahl an Autofahrern im Tunnel (sowie auf offener Strecke) kein Radio hört. Die starke Abhängigkeit der Nutzerinformation vom Medium Radio – insbesondere in der Aktivierungsphase – wird sich erst langfristig ändern, sofern den in diesem Bericht spezifizierten Empfehlungen für eine Normanpassung gefolgt wird, oder wird gleich bleiben im Fall eines Status Quo der Normvorgaben. Wir empfehlen daher, ein Konzept auszuarbeiten, wie die Radionutzung in Strassentunneln bei Automobilisten bereits kurz- bis mittelfristig, d.h. in den kommenden 1-3 Jahren, gefördert werden kann.

Desweiteren sollte ein Projekt mit Berufskraftfahrern geprüft werden. Um Nutzer zur Flucht aus dem Tunnel zu aktivieren, ist eine kritische Masse von rund 10 Prozent der Nutzer mit dem richtigen Verhaltensimpuls erforderlich. Vorwissen als Einflussfaktoren für das Nutzerverhalten ist für die Allgemeinheit der Automobilisten aufgrund der relativen Seltenheit einer Tunneldurchfahrt und einer um ein Vielfaches höheren Seltenheit eines Ereignisses im Tunnel mit vertretbaren Mitteln nicht erreichbar. Möglich jedoch ist es, ein solches Vorwissen bei Berufsfahrern zu generieren. So bietet es sich beispielsweise an, ein spezielles Fahrschultraining für Berufsfahrer durchzuführen, die oft längere Tunnelstrecken durchfahren (vgl. ACTEURS).

Zudem wird durch das Forschungsprojekt aufgezeigt, dass Praxistests im Experiment mit zwei unterschiedlich ausgestatteten Strassentunnels (Ausstattungssetting "Totalausbau": sämtliche Massnahmen umgesetzt und Ausstattungssetting "Ruheprinzip": Verzicht auf einen Teil der Massnahmen) zur Klärung wichtiger noch offener Punkte notwendig sind.

Publikationen:

Forschungsbericht



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Beurteilung der Begleitkommission:

Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.

Beurteilung:

Der Bericht stellt einen guten Überblick über die gängige Fachliteratur und den Stand des Wissens zu dem Thema 'Menschliches Verhalten in Tunnels im Ereignisfall' dar. Es handelt sich gewissermassen um eine Kompilation des vorhandenen Wissens, wie es sich aufgrund von Forschungsarbeiten der letzten ca 10 -15 Jahre entwickelt hat.

Die einzelnen Erkenntnisse werden beschrieben, analysiert und gewertet und die so vorgenommene Evaluation auch mit Schweizer Experten besprochen.

Grundlegend neue Erkenntnisse treten dabei keine zutage. Das sich ergebende Bild der Expertenmeinungen ist uneinheitlich.

Die Autoren schlagen darauf basierend Massnahmen vor, wobei sie dazu keine abschliessende Bewertung abgeben. Die vorgeschlagenen Massnahmen (aus der Sicht des Themas „Menschliches Verhalten in Tunnels im Ereignisfall“) sollen im weiteren Verlauf mit den technischen Randbedingungen überprüft werden. Schliesslich werden sie sich auch einem Kosten-Nutzen-Vergleich stellen müssen.

Umsetzung:

Gemäss Folgerungen und Empfehlungen der Forschungsstelle

weitergehender
Forschungsbedarf:

Gemäss Folgerungen und Empfehlungen der Forschungsstelle

Einfluss auf
Normenwerk:

Gemäss Folgerungen und Empfehlungen der Forschungsstelle

Präsident Begleitkommission:

Name:

Anagnostou

Vorname:

Georgios

Amt, Firma, Institut:

ETH Zürich, Institut für Geotechnik

Strasse, Nr.:

HIL D12.1, Wolfgang-Pauli-Strasse 15

PLZ:

8093

Email:

georg.anagnostou@igt.baug.ethz.ch

Ort:

Zürich

Telefon:

0041 44 633 31 80

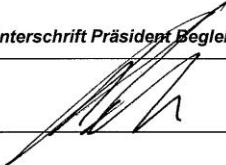
Kanton, Land:

Zürich

Fax:

0041 44 633 10 97

Unterschrift Präsident Begleitkommission:

 Zürich, 22.12.11

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

1/4

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen <i>Functional requirements for traffic collection systems relating to traffic lights</i> <i>Exigences fonctionnelles en matière de systèmes de détection du trafic en rapport avec les installations de feux de circulation</i>	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen <i>Profil géométrique type pour tous les types de véhicules</i> <i>Standard profile of cross sections for all vehicle types</i>	2010
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts <i>Validierung des CRS-Oedometers mittels intakter Proben</i> <i>Validation of Constant Rate of Strain oedometer on intact samples</i>	2010
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit <i>Coûts horaires du trafic des personnes: Dépendance de la perception et de la distance</i> <i>Willingness to pay in passenger transportation: Perception and distance dependence</i>	2008
1286	VSS 2000/338	Verkehrsrqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung <i>Niveau de service et capacité pour les routes à deux voies sans séparation des sens de circulation</i> <i>Level of Service and capacity for undivided two-lane streets</i>	2010
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure: ponts à culées intégrales <i>Tragwerk-Baugrund Interaktion: Brücken mit Integralen Widerlagern</i> <i>Soil-Structure interaction: bridges with integral abutments</i>	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz <i>La circulation du point de vue des enfants: Les trajets scolaires des élèves du primaire en Suisse</i> <i>Traffic and children: Primary school children's routes to school in Switzerland</i>	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement <i>Coordination entre information de trafic individuelle et gestion de trafic</i> <i>Coordination between individual traffic information and traffic management</i>	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen <i>Essais de gonflement de longue durée sur roches anhydrites</i> <i>Long-term swelling tests on anhydritic rock</i>	2010

23.076.0 / 21.10.2011

Gs Fo SBT

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen <i>Functional requirements for traffic collection systems relating to traffic lights</i> <i>Exigences fonctionelles en matière de systèmes de détection du trafic en rapport avec les installations de feux de circulation</i>	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen <i>Profil géométrique type pour tous les types de véhicules</i> <i>Standard profile of cross sections for all vehicle types</i>	2010
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts <i>Validierung des CRS-Oedometers mittels intakter Proben</i> <i>Validation of Constant Rate of Strain oedometer on intact samples</i>	2010
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit <i>Coûts horaires du trafic des personnes:</i> <i>Dépendance de la perception et de la distance</i> <i>Willingness to pay in passenger transportation:</i> <i>Perception and distance dependence</i>	2008
1286	VSS 2000/338	Verkehrssqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung <i>Niveau de service et capacité pour les routes à deux voies sans séparation des sens de circulation</i> <i>Level of Service and capacity for undivided two-lane streets</i>	2010
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure: ponts à culées intégrales <i>Tragwerk-Baugrund Interaktion:</i> <i>Brücken mit Integralen Widerlagern</i> <i>Soil-Structure interaction:</i> <i>bridges with integral abutments</i>	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz <i>La circulation du point de vue des enfants:</i> <i>Les trajets scolaires des élèves du primaire en Suisse</i> <i>Traffic and children: Primary school children's routes to school in Switzerland</i>	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement <i>Coordination entre information de trafic individuelle et gestion de trafic</i> <i>Coordination between individual traffic information and traffic management</i>	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen <i>Essais de gonflement de longue durée sur roches anhydrites</i> <i>Long-term swelling tests on anhydritic rock</i>	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet <i>Entretien des infrastructures routières dans les zones bâties: caractéristiques et conséquences</i> <i>Special features and consequences of road facility maintenance in built-over areas</i>	2009
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme <i>Control of effectiveness of road restraint systems</i> <i>Contrôle de l'efficacité des dispositifs de retenue de véhicules</i>	2011
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel <i>Détection d'incidents dans les tunnels routiers</i> <i>Incident Detection in Road Tunnels</i>	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen <i>Prévision de gel et de brouillard pour les routes</i> <i>Prediction of frost and fog for roads</i>	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten <i>Principes pour la quantification des effets des déficits de la sécurité</i> <i>Basis for the quantification of the effects of safety deficits</i>	2011
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen <i>Alternatives aux passages pour piétons dans les zones 30</i> <i>Alternatives to zebra crossings in 30km/h zones</i>	2010
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln; Systemevaluation <i>Energy extraction from urban tunnels, evaluation of systems</i> <i>Extraction d'énergie géothermique de tunnels urbains; évaluation de systèmes</i>	2010
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau <i>Analyse inverse pour la construction routière</i> <i>Inverse analysis in Road Geotechnics</i>	2011
1311	VSS 2000/543	Viabilität des projekts und des Installations annexes <i>Kontrolle der Befahrbarkeit von Strassen und Nebenanlagen</i> <i>Viability of road projects and secondary facilities</i>	2010
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement <i>Standardisation des données de trafic pour gestion intermodale du trafic</i> <i>Standardised traffic data for intermodal traffic management</i>	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum <i>Standards for mobility supply in peripheral regions</i> <i>Standards pour l'offre de mobilité dans l'espace périphérique</i>	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an ? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen <i>Transports de l'avenir ?</i> <i>Moteurs et carburants pour la mobilité de demain</i> <i>What drives us on ?</i> <i>Drives and fuels for the mobility of tomorrow</i>	2011
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lämmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im labormasstab <i>Désenrobage des enrobés peu bruyants des couches de roulement sous sollicitation de roulement en laboratoire</i> <i>Stripping of Low Noise Surface Courses during Laboratory Scaled Wheel Tracking</i>	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors <i>SPIN-ALP: Abschätzung des Potentials des Intermodalen Verkehrs auf Alpenkorridoren</i> <i>SPIN-ALP: Estimation du potentiel du transport intermodal sur les axes transalpins</i>	2010
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten <i>Fonctions de résistance pour des tronçons routiers urbains en dehors de la zone d'influence de carrefours</i> <i>Capacity restraint functions for urban road sections not affected by intersection delays</i>	2010
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-Vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes. <i>Die charakteristischen Indikatoren einer Velostadt. Evaluationsmethode der Velopolitiken anhand von 8 Indikatorgruppen für kleine und mittlere Gemeinden</i> <i>Characteristic indices of a Bike City. Method of evaluation of cycling policies in 8 indices for small and medium-sized communes</i>	2010
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology <i>Temps de parcours en réseau urbain</i> <i>Methodologie für Fahrzeitbewertung in städtischen Strassennetz</i>	2011
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit <i>Modèles d'impact d'équipements de véhicules pour améliorer la sécurité routière</i> <i>Modelling of the impact of in-vehicle equipment for the enhancement of traffic safety</i>	2009
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground <i>Entscheidungsgrundlagen und Hilfsmittel für die Planung von TBM-Vortrieben in druckhaftem Gebirge</i> <i>Critères de décision et outils pour la planification de l'avancement au tunnelier dans des conditions de roches poussantes</i>	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr <i>Basic technologies for detecting intermodal traveling passengers</i> <i>Les technologies de base pour l'enregistrement automatique des usagers de moyens de transports</i>	2011